MUNDO CIENTIFICO

¿EXISTE EL INFINITO?

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

Nº 151 - Mensual 650 Ptas.

EL SIDA DEL GATO
LA EROSIÓN DE LAS GRANDES LLANURAS
EL QUARK TOP

9 770211 305003 00151

LA TECNOLOGÍA AMERICANA
FRACASOS Y CORRUPCIÓN

ISSN 0211 - 3058

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

LA REVISTA CIENTÍFICA DE ÁMBITO INTERNACIONAL

LA PRIMERA REVISTA EUROPEA DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA

ENCONTRARÁ CADA MES LOS MEJORES ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA ESCRITOS POR PRESTIGIOSOS INVESTIGADORES Y ESPECIALISTAS

11 NÚMEROS AL AÑO QUE INCLUYE UN NÚMERO ESPECIAL

¿POR QUÉ SUSCRIBIRSE?

- ***PARA RECIBIR CÓMODA Y PUNTUALMENTE LA REVISTA EN SU DOMICILIO PARA QUE NO LE FALTE NINGÚN NÚMERO***
- ***PARA BENEFICIARSE DEL SERVICIO AL SUSCRIPTOR: TAPAS, ÍNDICES EN DISQUETE, CONSULTA BASE DE DATOS VÍA MODEM, ETC.***
- ***INFORMACIÓN DE COLOQUIOS, SIMPOSIUMS, CONGRESOS, CURSOS, ETC.***

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

MUNDO CIENTÍFICO

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
EDITORIAL FONTALBA, S.A. Valencia 359, 6º 1ª, 08009 Barcelona (España)
Señores: Deseo suscribirme a la revista **MUNDO CIENTÍFICO**, de periodicidad mensual, al precio de oferta de 6.475 ptas., incluido IVA (7.150 ptas. precio venta quiosco), por el período de un año (11 números) y renovaciones hasta nuevo aviso, cuyo pago efectuaré mediante:

A partir del mes de ..... (incluido)

☐ Domiciliación bancaria.
☐ Envío cheque bancario por 6.475 ptas.
☐ Contrarreembolso.

Si desean factura, indiquen el número de copias y el NIF .....

Nombre .....
Apellidos .....
Profesión ..... Teléfono .....
Domicilio ..... Código Postal .....
Población ..... Provincia .....
País ..... Fecha .....

Para Canarias, Ceuta y Melilla 6.286 ptas. (exento IVA). Envío aéreo Canarias: 6.946 ptas.
Para el extranjero, enviar adjunto un cheque en dólares:

	Ordinario	Avión
Europa	64$	92$
América	64$	109$

(Se recomienda para Canarias y América el envío aéreo.)
Rogamos a los suscriptores que en toda la correspondencia (cambio de domicilio, etc.) indiquen el número de suscriptor, o adjunten la etiqueta de envío de la revista.

DOMICILIACIÓN BANCARIA

Fecha .....
Banco o Caja .....
Sucursal .....

C.C.C. (Código Cuenta Cliente)

Entidad	Oficina	DC	Nº cuenta

NOTA IMPORTANTE: **Las diez cifras del número de cuenta deben llenarse todas.** Si tiene alguna duda en el número de cuenta, el banco o la sucursal, consulte a su entidad bancaria donde le informarán.

Domicilio .....
Población ..... C.P. ..... Provincia .....

Señores: Ruego que hasta nuevo aviso abonen a Editorial Fontalba, S.A., Valencia 359, 6º 1ª, 08009 Barcelona (España), con cargo a mi c/c o libreta de ahorros, los recibos correspondientes a la suscripción o renovación de la revista **MUNDO CIENTÍFICO**.

Firma

Titular .....
Domicilio .....
Población ..... C.P. .....
Provincia .....

SUSCRÍBASE A

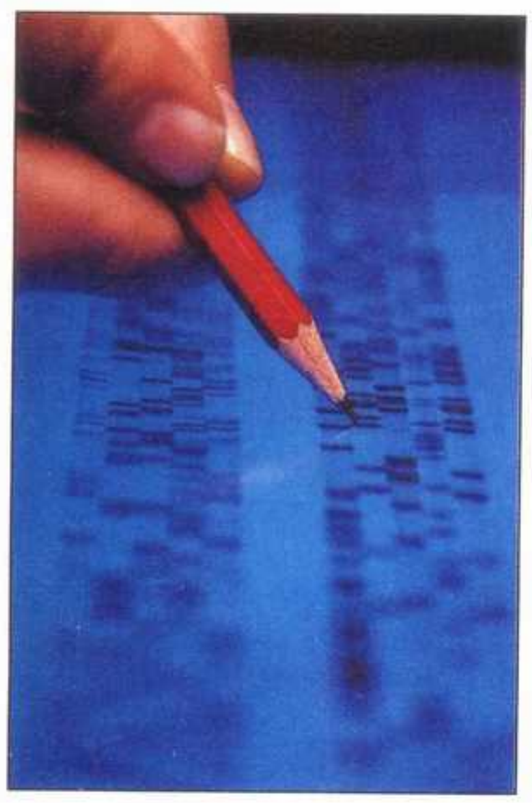
MUNDO CIENTIFICO

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

EL TRASFONDO DE LOS FRACASOS TECNOLÓGICOS NORTEAMERICANOS

LA EROSIÓN DE LOS GRANDES LLANOS AGRÍCOLAS



DNA ANTIGUO, UNA UTIL HERRAMIENTA PALEOGENETICA

EL INFINITO

Portada:
Foto Nasa/Cosmos

SUMARIO Nº 151

900 INFORMACIONES Y NOTICIAS
904 TÉCNICA E INDUSTRIA
907 INFORMÁTICA

908 EL TRASFONDO DE LOS FRACASOS TECNOLÓGICOS NORTEAMERICANOS, por Robert Bell.
Desde la guerra de las Galaxias hasta el abandono del proyecto de acelerador de partículas SSC, en los últimos años se han multiplicado los fracasos tecnológicos norteamericanos.

916 LA EROSIÓN DE LOS GRANDES LLANOS AGRÍCOLAS, por Stanislas Wicherek.
La intensificación de la agricultura, la deforestación y la mecanización ¿favorecerán la fertilidad de las mejores tierras del mundo?

926 EL SIDA DEL GATO Y SU VIRUS, por Franck Courchamp, Dominique Pontier, Jean-Marie Legay y Marc Artois.
El virus de la inmunodeficiencia felina provoca en los gatos un síndrome comparable al del sida humano.

932 DNA ANTIGUO, UNA ÚTIL HERRAMIENTA PALEOGENÉTICA, por Iñaki Fernández.
El DNA antiguo ha demostrado ser una eficaz herramienta para resolver incógnitas científicas que, de otro modo, quizá deberían esperar unos cuantos años más en hallar la solución.

942 EL INFINITO, por Hourya Sinaceur.
Fue necesario esperar a finales del siglo XIX para que el infinito matemático fuera definido y cuantificado de manera precisa.

950 EL UNIVERSO MATERIAL, por Arturo Arnau.
La materialidad del universo observable queda fuera de toda duda en nuestro actual estado de conocimiento.

962 LOS ARCHIVOS DEL PALEOLÍTICO, por Randall White.
¿Es el arte paleolítico nuestra primera memoria colectiva?

968 ASTRONAUTAS EN UN SUBMARINO, por María Luisa Sarazá y Dusko Despotovic.
Desde hace poco más de un año, España cuenta con un centro de diagnóstico e investigación en sanidad animal, dotado de lo que se conoce como «zona de alta seguridad biológica».

970 EXPLORAR LAS PELÍCULAS DE JABÓN, por Jean-Jacques Benattar y Aude Schalchli.
Una nueva técnica de estudio de las membranas fluidas y de sus fuerzas internas.

972 LAS BACTERIAS DE LOS YACIMIENTOS PETROLÍFEROS, por Michel Magot, Jacques Connan y Jean-Louis Crolet.
Algunos yacimientos de petróleo encierran una flora bacteriana propia.

974 LOS BEBÉS Y LOS COLORES, por Jules Davidoff y Peter Mitchell.
A los niños de muy corta edad les es difícil nombrar los colores sin que se sepa exactamente por qué.

976 FECUNDACIÓN «IN VITRO» DE LAS PLANTAS CON FLORES, por Christian Dumas.
La fecundación in vitro, reservada durante mucho tiempo a los animales y al hombre, ya es ahora posible en las plantas con flores.

978 GAS FÓSIL EN UNA GALAXIA ENANA, por Daniel Kunth.
¿Está «fosilizada» la galaxia enana IZw18, situada a treinta millones de años luz?

980 EL QUARK TOP, UN DESCUBRIMIENTO ANUNCIADO, por Maurice Mashaal.
El quark top, una de las últimas piezas que faltaban en la tabla de las partículas elementales.

981 EL SEGUNDO RECEPTOR DEL VIRUS DEL SIDA: CONTINUACIÓN, por Laura Schalchli.
¿Cuál es el papel del receptor CD26 en la infección de las células inmunitarias por el virus del sida?

982 EL CUELLO DEL FÉMUR: ¿UN INDICADOR SOCIAL PARA LOS ANTROPÓLOGOS?, por Erik Trinkaus.
¿Puede obedecer a un carácter social la diferencia entre hombres modernos y de neandertal?

984 EL OJO, AL ACECHO DEL CAMPO MAGNÉTICO, por Françoise Breton y Françoise Gillard.
¿Cómo reciben las aves el campo magnético terrestre? En el proceso podrían estar implicados los fotorreceptores de la retina.

986 SALVAR A LOS PECES DE AGUA DULCE, por Christian Lévêque
Muchos representantes de la fauna de agua dulce desaparecen entre la indiferencia colectiva.

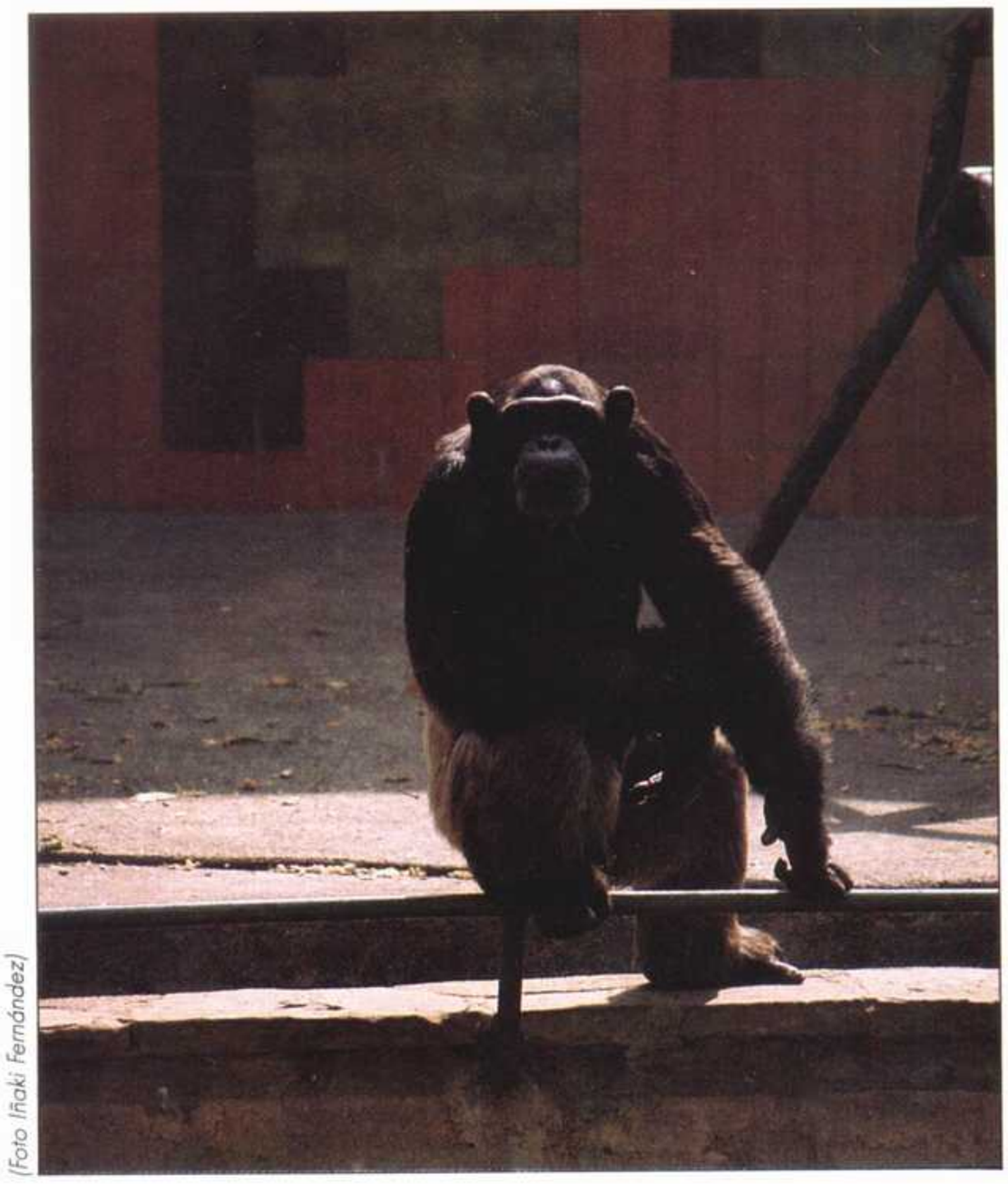
988 Librería de las ciencias • 992 Coloquios • 993 Sumario inglés

I N F O R M A C I O N

NUEVA ESPECIE DE CHIMPANCÉ

Un grupo de investigadores norteamericanos dirigido por el biólogo molecular Philip A. Morin, de la universidad de California, ha demostrado cómo un nuevo método no invasivo de análisis genético puede ser utilizado para hallar información sobre la estructura de un grupo o población, sobre flujos génicos o sobre relaciones filogenéticas. En este sentido, el equipo de Morin, después de tomar muestras de DNA de 20 lugares diferentes de África y de proceder a su posterior amplificación por el método de la PCR, ha concluido que la subespecie de chimpancé del oeste de África (*Pan troglodytes verus*) podría ser elevada al estatus de especie.

Las muestras de DNA han sido extraídas del pelo que dejan los chimpancés en los nidos donde pasan la noche. En total se han analizado ocho loci nucleares y dos mitocondriales. Los investigadores consideran que la inesperada gran distancia genética entre la subespecie de chimpancés del oeste y las del centro y este de África sugiere un tiempo de divergencia evolutiva de unos 1,58 millones de años. Esta distancia podría implicar que la subespecie del oeste alcance el rango de especie. De este modo, en lugar de haber dos especies de chimpancés (*P. troglodytes* y *P. paniscus*) habría tres.



(Foto Iñaki Fernández)

Varios científicos ya se han mostrado persuadidos por el trabajo de Morin (*Science, 265*, 1173, 1994). No obstante, la conclusión del grupo de Morin deberá ser contrastada con otros estudios de índole ecológico y etológico, ya que, de momento, «el estudio genético solo no determina una especie», señala Morin. En poco más de un año, la biología molecular ha dado un vuelco a las relaciones filogenéticas no sólo en chimpancés, sino también en gorilas. En el caso de estos últimos, ha sido la bióloga de la universidad de Harvard, Maryellen Ruvolo, quien a principios de 1993, y tras explorar una determinada secuencia de DNA mitocondrial de las tres subespecies de gorilas que existen, dio a conocer la conclusión de su estudio: los gorilas de costa (los que se puede observar en los zoos de todo el mundo) tienen suficiente independencia genética como para constituir una especie.

CLIMAS ANTIGUOS: LA PRUEBA DE LOS ESTOMAS

Algunos climatólogos norteamericanos ponen en duda la fiabilidad de las mediciones del nivel de gas carbónico atmosférico a partir de las burbujas de aire capturadas en muestras de hielo extraídas en la Antártida y en Groenlandia. Un nuevo método de medida del nivel de CO_2, del que se hace eco la revista norteamericana *Eos*, podría cerrar el debate. Se basa en el registro de la densidad de estomas en la superficie de las hojas, es decir de los poros que hacen posible la entrada de CO_2 y los intercambios de agua con el aire (evapotranspiración). Un equipo norteamericano de la universidad de Arizona y del Servicio geológico norteamericano acaba de estudiarla en efecto en unas 1 200 hojas de pino conservadas en deyecciones de ratas procedentes de diversas regiones de Estados Unidos (*Eos, 75*, 18, 1994). Durante la última desglaciación, entre 15 000 y 12 000 años, mientras que la concentración de CO_2 habría aumentado en un 30 %, el número de estomas disminuyó en un 17 %. Ya se sabía, gracias a numerosos experimentos, que el aumento brusco del nivel de CO_2 en el aire tiene como efecto el cierre parcial de los estomas de las plantas. El estudio norteamericano sugiere que, a largo plazo, se produce una adaptación morfológica. Si se pudiese confirmar la existencia de una relación inversamente proporcional entre el número de estomas y el contenido de CO_2, los climatólogos podrían ojear a partir de ahora, además de las burbujas de aire en el hielo, las hojas en los montones de estiércol.

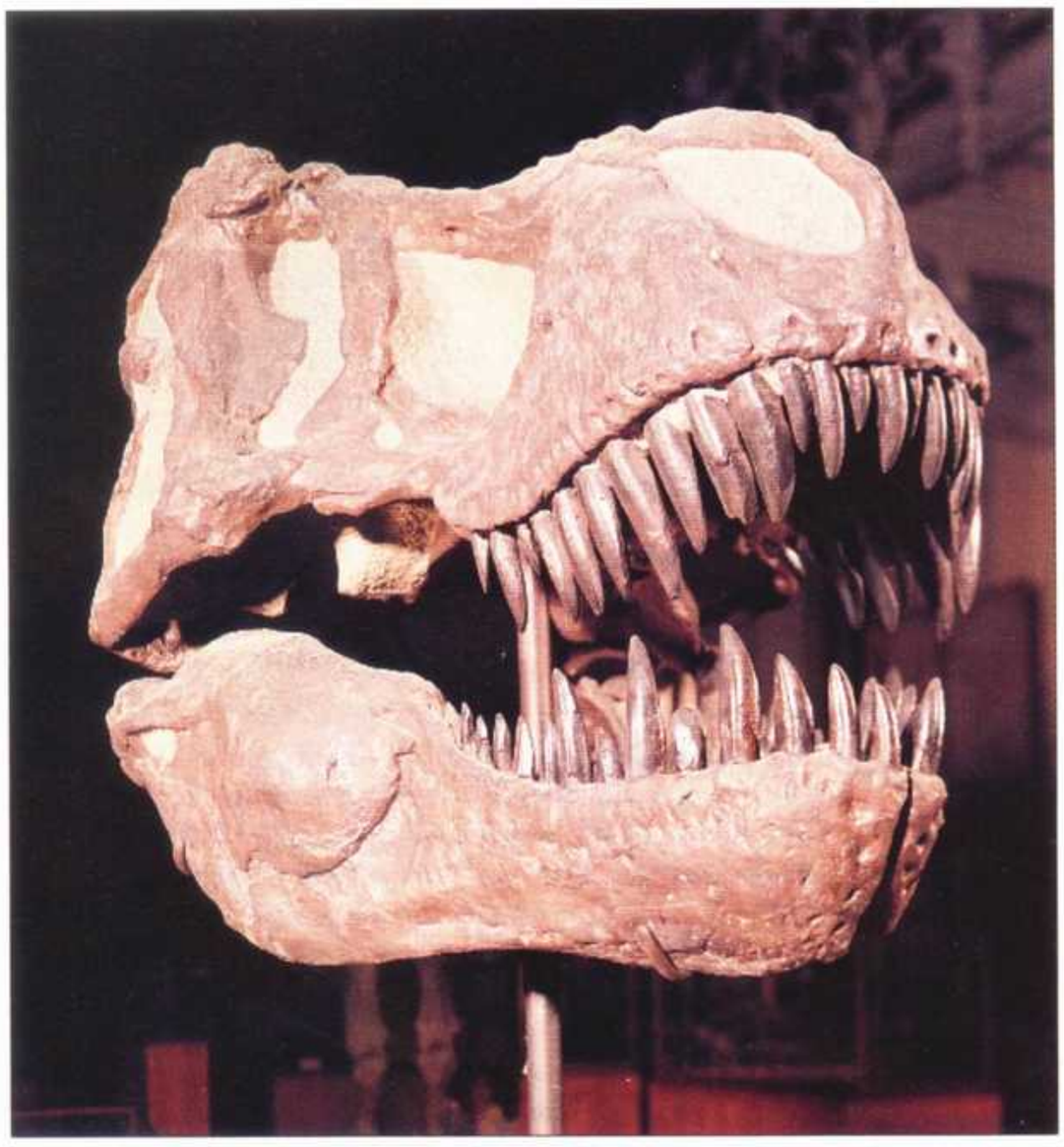
LA ENFERMEDAD DE ALZHEIMER, TERCERA CAUSA DE MUERTE ENTRE LAS PERSONAS ADULTAS

La enfermedad de Alzheimer es un tipo de demencia senil incurable que se ceba en personas mayores de 55 años y que afecta a 20 millones de personas en todo el mundo. En España existen alrededor de 400 000 casos. Según los especialistas del departamento de neurología de la Clínica Universitaria de Navarra, debido al progresivo envejecimiento de la población, de no encontrarse urgentemente un tratamiento eficaz, el número de afectados por esta demencia podría duplicarse en las primeras décadas del siglo XXI.

Hoy la enfermedad de Alzheimer es la tercera causa de muerte entre las personas adultas, después del cáncer y las dolencias cardiovasculares. Además, por su lenta pero implacable evolución, que puede prolongarse durante más de diez años, constituye uno de los principales problemas de

E S Y N O T I C I A S

salud pública. El gasto que genera un enfermo de Alzheimer alcanza fácilmente cuatro millones de pesetas anuales. A esto hay que añadir la falta de centros de atención de día y de residencias asistidas para el cuidado de los pacientes, por no mencionar la carencia de un tratamiento efectivo, aspecto en el cual se centra la investigación de los distintos laboratorios.
La pérdida de memoria a corto plazo, la desorientación en el tiempo y el espacio, la dificultad para encontrar palabras y la alteración progresiva de las facultades intelectuales son los síntomas iniciales que alertan al paciente.
El origen de esta enfermedad neurológica constituye hoy por hoy un misterio aunque existen algunos indicios. Para el Dr. Joaquín del Río, director del departamento de Farmacología de la Facultad de medicina de la Universidad de Navarra, *«genes defectuosos —como los hallados en los cromosomas 14, 19 y 21—, traumatismos craneales que dañan las estructuras internas del cerebro, infecciones provocadas por virus aún desconocidos, anticuerpos que atacan a las células nerviosas, deterioros en mitocondrias —las centrales energéticas de la célula— y la acción de sustancias tóxicas, como el aluminio, son los posibles desencadenantes del mal».*
En este sentido se descubrió que el gen reponsable de sus síntesis se localiza en le cromosoma 21, el mismo que provoca el mongolismo o trisomía 21. *«No es casualidad que los mongólicos desarrollen más o menos a los 30 años placas seniles muy parecidas a las descritas en los pacientes con demencia senil. Más recientemente se ha comprobado que otros neurotransmisores, como la serotonina y la noradrenalina, también escasean en los cerebros dementes,* puntualiza el doctor Joaquín del Río. *Así, nosotros, entre nuestras líneas de investigación, estamos estudiando el papel que pueden ejercer las neuroquinas como detonantes de la toxicidad. El objetivo es comprobar si están selectivamente menguadas en las zonas del cerebro afectadas por esta demencia».*
De todas formas, mientras se siguen desarrollando las investigaciones con el objetivo de lograr ese medicamento o tratamiento esperanzador, en Estados Unidos, se ha probado el primer fármaco para combatir esta enfermedad: la tacrina. En realidad, se trata de un viejo medicamento que hace 30 o 40 años se empleaba para la recuperación de cierto tipo de anestesia. La tacrina actúa evitando la formación de acetilcolinesterasa, el enzima que degrada el neurotransmisor acetilcolina.
En España se está realizando un estudio multicéntrico en pacientes afectados por esta enfermedad tratados con este fármaco. De momento los expertos sostienen que la tacrina o sus derivados son fármacos modestamente eficaces en algunos pacientes en los que los síntomas no se han agudizado. Todavía es muy pronto para saber si retrasa la historia natural de esta enfermedad.



DINOSAURIOS: ¿SE IMPONE EL CALIENTE AL FRÍO?

¿Tenían los dinosaurios sangre caliente como las aves y los mamíferos o sangre fría como los reptiles? Dicho de otro modo, eran o no capaces de regular la temperatura de su cuerpo por medio de su propio metabolismo? Esta pregunta, en el centro del debate desde hace más de veinte años, está de nuevo de actualidad. R.E. Barrick y W.J. Showers de la universidad de Carolina del Norte han llegado a la conclusión, después de haber medido las composiciones de isótopos estables del oxígeno (^{16}O y ^{18}O) en los huesos de *Tyrannosaurus Rex*, que estos animales eran homeotermos; en otras palabras, la temperatura de su cuerpo era constante cualesquiera que fuesen las fluctuaciones externas (R.E. Barrick y W.J. Showers, *Science, 265*, 222, 1994). La composición isotópica del oxígeno de los huesos refleja la del agua del cuerpo, que a su vez depende estrechamente de la temperatura. Las variaciones de la composición isotópica, en un mismo hueso y entre diferentes huesos del cuerpo, atestiguan por consiguiente variaciones internas de la temperatura. Las medidas realizadas por Barrick y Showers en un fósil excepcionalmente bien conservado muestran que la variabilidad de la temperatura del cuerpo del dinosaurio era inferior a 4 °C, límite por debajo del cual se considera que un organismo es homeotermo. Esto sugiere que estos animales podían estar provistos de un metabolismo suficientemente elevado para mantener una temperatura constante. Queda el hecho de que todavía se trata de una prueba indirecta que exige una confirmación. (Foto D. Serrette/MNHN Paléontologie.)

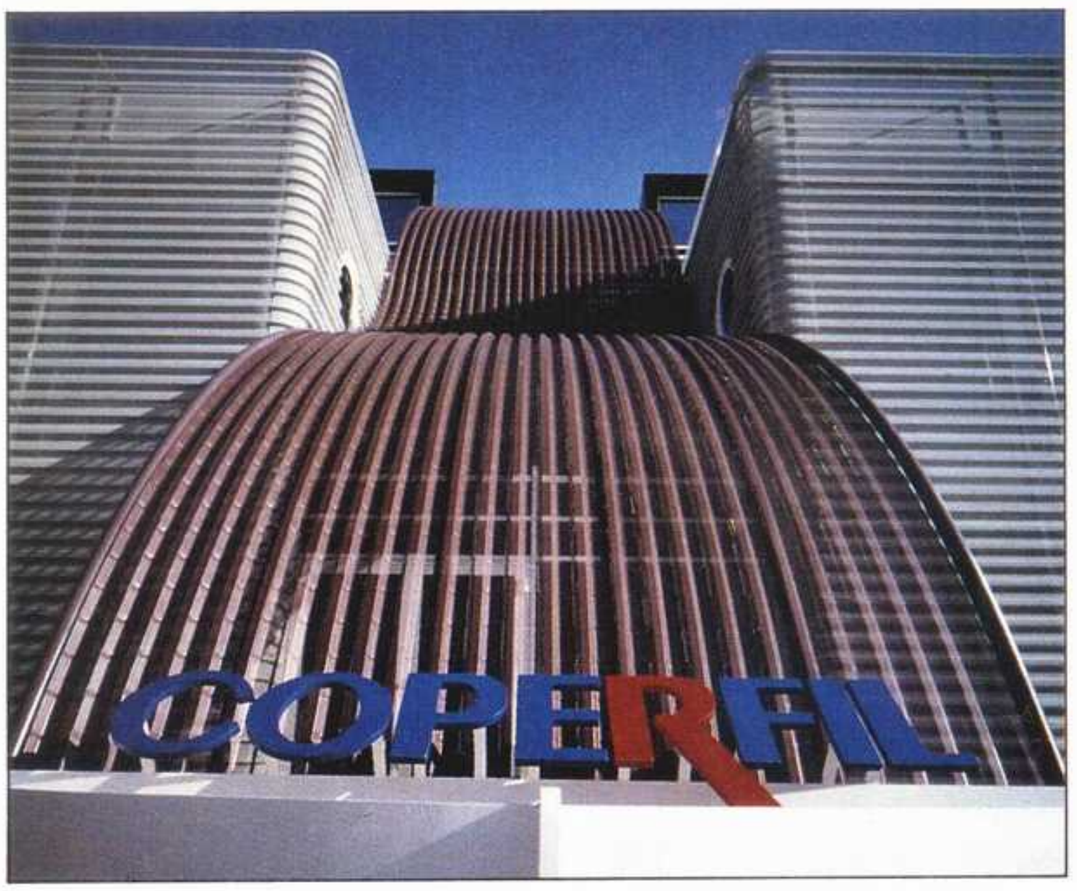
POLIQUISTOSIS RENAL: EL GEN CLAVE IDENTIFICADO

La poliquistosis renal es una insuficiencia renal crónica debida al crecimiento de múltiples quistes renales, y provoca la muerte de la mitad de los pacientes hacia la edad de 60 años.
Esta enfermedad está muy extendida, ya que afecta a una persona de cada 1 000, y basta que uno de los padres esté afectado para que la mitad de los hijos también lo esté. Desde hace nueve años, los investigadores saben que el gen responsable de la poliquistosis está situado en el cromosoma 16, pero no han logrado localizarlo con precisión. Gracias al estudio

de una familia portuguesa afectada por la enfermedad, un equipo internacional dirigido por P. Harris, del Hospital John Radcliffe de Oxford en Gran Bretaña, ha logrado finalmente identificar este gen (P. Harris *et al.*, *Cell, 77*, 881, 1994).
En los individuos afectados, una parte del material genético del cromosoma 16 se transfiere al cromosoma 22, y viceversa. Dado que el corte del cromosoma 16 se puede producir en medio de un gen y hacer a este último inoperante, los investigadores pensaron que esta traslocación podía estar en el origen de la poliquistosis en esta familia: el extremo del cromosoma 16 en contacto con el cromosoma 22 podía contener el gen implicado en la enfermedad. Han identificado este gen y han verificado que está claramente mutado en otros trescientos enfermos. Ahora falta estudiar el gen PKD 1 (Polykystic Kidney Disease 1), con objeto de conocer la función de la proteína cuya fabricación controla, y poner a punto una prueba de detección precoz para las familias expuestas.

UN GENOMA MINÚSCULO

El genoma más pequeño actualmente conocido en los organismos que poseen células con un núcleo (eucariotas) es el de un protozoo parásito de los peces,* Spraguea lophii. *El tamaño del genoma de esta especie de microspórido, determinado el pasado mayo por unos investigadores del CNRS de Clermont-Ferrand y del INSERM en Montpellier (Francia), es de seis millones de bases, es decir, dos veces menos que el genoma de la levadura (C. Biderre* et al., C.R. Acad. Sci., 317, *399, 1994). Por tanto será más fácil estudiar este genoma, en particular los genes esenciales para la multiplicación del parásito en el organismo huésped.



EL GRUPO COPERFIL ENTRA EN EL MERCADO GRIEGO

La empresa española Coperfil, ha suscrito un importante contrato con las empresas del sector alimentario griego *Fage dairy y Ebga* y del sector del tabaco *Tabacco* para la construcción de tres plantas industriales en el país heleno con superficies de 1 000 m^2, 6 000 m^2 y 12 000 m^2, respectivamente.
La pronta inauguración de la nueva planta de producción de la empresa *Interklima* dedicada a la fabricación de equipos de aire acondicionado, está siendo la mejor publicidad de la empresa en este país. Con sus 8 000 m^2, esta nave industrial incorpora el diseño en sus cerramientos gracias al perfil horizontal RV-48 de Coperfil.
A pocos kilómetros de distancia de la fábrica *Interklima* se construirá durante el último trimestre del año y para la empresa *Mornos*, especializada en la fabricación de plásticos, una nave con una superficie superior a los 13 000 m^2.
La incorporación de dos concesionarios en Grecia, uno en Atenas y otro en Tesalónica, para la comercialización y montaje de las naves industriales bajo la marca comercial Coperco Coperfil Construction System permitirá a la empresa, junto a los contratos ya firmados, superar este año los 40 000 m^2 de naves construidas.
Este contrato es fruto de la nueva política de la empresa catalana de abrir mercados exteriores e introducir en ellos los productos españoles de alta calidad y precios competitivos.

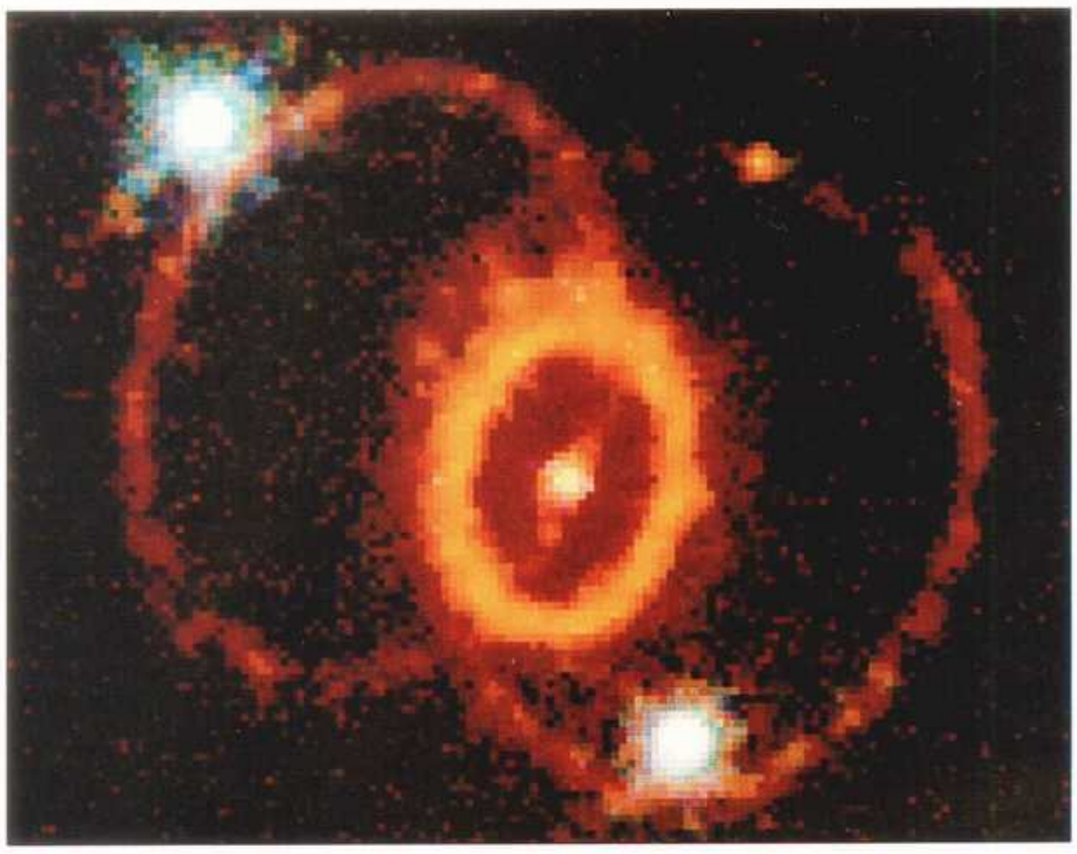
NUEVO CENTRO DE REPRODUCCIÓN DE TORTUGAS

La asociación Amics de la Tortuga de l'Albera ha abierto recientemente las puertas del nuevo «Centro de reproducción de tortugas», sito en la localidad gerundense de Garriguella, en las estribaciones de la sierra de l'Albera, único lugar de la península Ibérica donde se halla la última población de tortugas mediterráneas. El objetivo primordial de este nuevo centro consiste en estudiar a fondo la biología de este reptil y elaborar así un plan de cría en cautividad. Con ello se prevé poder liberar durante los años venideros varios ejemplares subadultos en aquellas áreas donde la densidad poblacional es baja o en los lugares donde esta especie ya ha desaparecido por completo.
Este nuevo centro, que se halla integrado en el plan de protección de la tortuga mediterránea, elaborado por el departamento de Agricultura de la Generalitat de Cataluña, es fruto de una iniciativa privada en la que participan expertos herpetólogos y que goza, además, del auspicio de algunas empresas con cierta sensibilidad proteccionista radicadas en la zona.
El nuevo centro de reproducción de tortugas se halla ubicado en la ermita de la Mare de Déu del Camp, santuario cedido por el obispado gerundense para este fin. Consta de un terreno de 3 800 metros cuadrados en los que se reproduce fielmente el medio natural en que vive esta especie. Así, el centro goza de riachuelos y cascadas.

(Foto Ramón Mascort)

E S Y N O T I C I A S

pequeños humedales, árboles típicos de l'Albera y matorrales autóctonos. Las instalaciones de Garriguella actúan, además, como un centro de recogida de aquellas tortugas exóticas que muchas personas poseen en su casa a nivel particular. De este modo se pretende evitar que la gente suelte sus pequeñas mascotas en bosque o lagos, lo que supone una dura competencia, por el terreno o por el alimento, para las especies autóctonas, ya de por sí escasas. En este sentido, la asociación Amics de la Tortuga de l'Albera espera recibir un elevado número de tortugas, especialmente de la de Florida, la más común en los acuarios caseros. Esta especie ya ha ocasionado serios perjuicios a varias poblaciones de tortugas endémicas de Cataluña.
Otro de los objetivos a cumplir por en nuevo centro es actuar como una escuela de naturaleza, a la que pueden asistir colegios, familias o gente interesada en el fascinante mundo de las tortugas. Se dará información sobre la biología de estos reptiles y de cómo conocerlos en su hábitat natural sin necesidad de capturarlos.
Con este nuevo local, son ya tres los centros que dedican sus esfuerzos a velar por el bienestar de las tortugas en España. Los otros dos son el el Centre Municipal Son Reus, Mallorca, y el Centro de Recuperación de Fauna Silvestre, afincado en la Alberca, Murcia.



LA SUPERNOVA FORMA BUCLES

Ya hace siete años que la supernova «del siglo» explotó en la Gran Nube de Magallanes, y no deja de provocar sorpresas a los astrónomos. Uno de los problemas, y no de los menores, es el anillo gaseoso brillante que rodea a esta supernova según las imágenes tomadas desde tierra y por el telescopio espacial Hubble. ¡Y según las últimas noticias, no habría uno, sino tres anillos! Desde luego, los astrónomos no están muy soprendidos de encontrar materia alrededor de la supernova, ya que, antes de la explosión, la estrella masiva que tenía por nombre Sanduleak-69°202 tuvo que pasar por unas fases llamadas de «supergigante» durante las que se escapa materia de la estrella en forma de un viento. Pero como la estrella es esférica, se esperaba que la materia fuese eyectada en forma de concha, en vez de en anillo... Hasta ahora, las explicaciones propuestas por los astrónomos no los satisfacían verdaderamente: por ejemplo, por razones misteriosas, la estrella habría dejado escapar mucha más materia por el ecuador que por los polos.
Dos astrónomos norteamericanos han propuesto una explicación más natural (R. McCray y D. Lin, *Nature, 369*, 378, 1994). Hace unos diez millones de años, se habría formado la estrella en un disco de gas y polvo. Su intensa radiación ultravioleta habría evaporado luego todas las regiones internas del disco. Por tanto, en el momento de la explosión, quedaba un anillo de gas alrededor de la estrella, del que veríamos actualmente su borde interior. Pero por lo que respecta a los dos anillos suplementarios, que dibujan un gran ocho alrededor de la estrella, revelados por las imágenes tomadas este año por el telescopio espacial reparado, los astrónomos todavía están envueltos en la niebla... (Foto NASA/*Ciel et Espace*.)

CALOR Y SEQUÍA EN LA EDAD MEDIA

Diferentes testimonios escritos dan cuenta de un periodo climática cálido en la Edad Media (el «Pequeño óptimo climático»). ¿Pero, cuáles eran la importancia y la extensión geográfica de esta fluctuación climática? Esto es lo que aclaran los resultados de Scott Stine de la universidad de California (*Nature, 369*, 546, 1994). Stine ha estudiado diferentes vestigios de cepas de árboles, todavía enraizadas en lagos y corrientes de agua de California y Patagonia y que son el testimonio de un periodo en el que el nivel de las aguas era mucho más bajo. Datando con carbono 14 los anillos de crecimiento más externos y contándolos, ha podido estimar con precisión el periodo de inundación de los árboles (cuando dejaron de crecer) y sobre todo los periodos de sequía anteriores durante los que los árboles se pudieron desarrollar. Se deducen así dos periodos de sequía intensa, uno entre 892 y 1112 d.C., y el otro entre 1209 y 1350 d.C. Según S. Stine, estas grandes sequías medievales podrían ser la consecuencia de modificaciones de la circulación atmosférica a nivel de los polos de la Tierra, que provocaron una reorientación de la trayectoria de las zonas de tempestades a latitud media. Si este fenómeno atmosférico tuvo como origen el calentamiento observado en esta misma época, es de esperar que un eventual aumento futuro de la temperatura, tanto si es natural como debido a las actividades humanas, se traduzca en sequías extremas de este tipo.

DETECTADO UN ENZIMA GIGANTE

Es la primera vez que se determina, por cristalografía de rayos X, la estructura tridimensional de una molécula tan imponente como la beta-galactosidasa (cuatro cadenas de 1 023 aminoácidos), el enzima fetiche de los biólogos moleculares desde hace una cincuentena de años (R.H. Jacobson* et al., Nature, 369, *761, 1994). Con este método, el equipo norteamericano ha podido visualizar los lugares activos de la beta-galactosidasa, lo que ha permitido comprender cómo funciona este enzima implicado, en la bacteria* Escheriquia coli, *en la degradación de los azúcares. Este estudio estructural abre el camino a la descripción de edificios moleculares aún más espectaculares. Además, los investigadores se beneficiarán pronto de la instalación europea de radiación sincrotrón (ESRF) de muy reciente inauguración en Grenoble, Francia.

NUEVOS COMPROBADORES ELÉCTRICOS

Citigás presenta en España los nuevos comprobadores eléctricos para diferentes aplicaciones (tensión, polaridad, continuidad, bobinas, enchufes eléctricos, etc.).
Estos dispositivos están dotados de pantallas LED y en algunos modelos (sin hilos) ni siquiera se requiere establecer contacto directo entre los cables de tensión y los terminales. Son fáciles de manejar, de pequeño tamaño y están especialmente pensados para técnicos, personal de mantenimiento, electricistas, etc.
Para el desarrollo de esta familia de comprobadores se ha incorporado la tecnología más avanzada en cuanto a la precisión de valores, funcionamiento y seguridad.

SENSORES A PRUEBA DEL FRÍO

Para disminuir los riesgos de contaminación en el Ártico, Canadá, Estados Unidos y Finlandia acaban de iniciar un programa de investigación que apunta a definir mejor las condiciones de navegación en el hielo. Se conocen desde hace tiempo las presiones que soportan los cascos de los rompehielos, pero nunca se había logrado medir con exactitud la resistencia de las hélices que agitan el agua helada. Para ello, el Polar Start, un rompehielos norteamericano provisto de un nuevo tipo de sensores, partió al principio de julio para surcar las aguas árticas. Dichos sensores, desarrollados por el Instituto nacional de óptica (INO), de Quebec, equipan una de las palas de la hélice de este rompehielos.
Se trata de sensores de fibras ópticas, cada uno de los cuales está constituido por dos fibras situadas, una enfrente de la otra, a algunos micrómetros de distancia. Los extremos de las fibras están cubiertos de espejos microscópicos. Las variaciones de distancia entre los dos espejos están directamente relacionadas con las deformaciones internas del material. En el Polar Start, que posee tres hélices, cada una de ellas provista de cuatro palas de cuatro toneladas, una de las palas ha sido equipada con sesenta sensores.
La utilización de sensores convencionales (que miden ínfimas variaciones de resistencia eléctrica) habría requerido perforaciones mucho mayores en la pala durante su instalación, para unos resultados mucho más aleatorios. Estos sensores son sensibles a la humedad y a

SISTEMA DE RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN POR SATÉLITE

La empresa Nagasi ha presentado recientemente un conjunto para recepción de televisión por satélite formado por el receptor CR-2000 y una antena plana y cuadrada de 38 cm de lado.
El receptor presenta display de cuatro dígitos en el cual aparecen las emisiones sintonizadas (entre 950 y 2 050 MHz), mando a distancia, euroconector que permite la compatibilidad con Canal Plus, posible memorización de hasta 120 canales y cobertura ampliada para recibir canales extra.
La antena, por sus especiales características estéticas (cuadrada y plana) supone una positiva innovación frente a las típicas «paelleras» que venían utilizándose hasta hoy.
A través de ambos equipos —receptor y antena— el consumidor español podrá recibir las emisiones de televisión por satélite que utilizan el idioma castellano (que se han incrementado en los últimos meses) a través del satélite Hispasat. Debido a esta circunstancia, al precio asequible del conjunto y a la facilidad de instalación, cabe imaginar que los nuevos productos de Nagai encontrarán una favorable acogida entre quienes desean realizar instalaciones individuales de TV-Sat.

INDUSTRIA

las variaciones de temperatura, e insuficientemente fiables en contacto con las aguas glaciales del Ártico. Más allá de este experimento, los investigadores del INO piensan en otras aplicaciones para sus nuevos sensores, consistentes en la medición de tensiones en diversos medios hostiles. «Pensamos tanto en las presas, las variaciones de cuya estructura interna se miden de forma continua, como en los aviones y los cohetes, en los que se tienen que conocer los esfuerzos ejercidos por la estructura durante el vuelo», precisa C. Belleville, del INO, donde ya se han iniciado los trabajos sobre estos problemas.

RUEDAS PARA LOS MÁS JÓVENES

El fabricante italiano de cochecitos para bebés PEG Perego Pines, DuPont y el Instituto Europeo de Diseño de Milán, patrocinaron un concurso para el desarrollo de un innovador diseño de cochecito, junto con todos sus accesorios opcionales. Empleando materiales DuPont, los diseñadores debían satisfacer todos los requisitos de seguridad, peso, producción y precio, así como de las normativas europeas al respecto.
El proyecto ganador, diseñado por Matteo Carbonoli y Lorenza Clivio, se llama *Passeggiando*. El modelo incorpora un asiento que puede desengancharse y usarse a modo de mochila para llevar el niño.
El segundo premio se adjudicó a un diseño totalmente equipado de divertidos accesorios, inspirados en dibujos animados, considerando que el «cliente» era el bebé. El tercer premio, lo ganó un cochecito cuya suspensión se desarrolló partiendo de una investigación sobre los ligamentos de las rodillas del canguro. Los diseñadores recibieron el apoyo del Centro Técnico de DuPont de Cernusco, Italia, así como de PEG Perego Pines, tanto en términos de competencia técnica como de experiencia en el campo de los conceptos biomiméticos en aplicaciones de ingeniería, con polímeros, fibras y otros materiales. Los mejores diseños podrían comercializarse a finales del presente año.

brevemente

EL CIELO AL ALCANCE DE LA MANO

Con uno de sus tres primeros «libros electrónicos», un CD-I de astronomía coproducido con el Club d'investissement Media, Flammarion se renueva con un título histórico (su célebre guía de la astronomía), a la vez que apuesta por las nuevas tecnologías. Al mismo tiempo se difunden otros dos títulos: un CD-ROM dedicado a la obstetricia, para practicantes y estudiantes, y un CD-ROM de geopolítica, el «diccionario de geopolítica». Por lo que respecta a la astronomía, el usuario descubrirá más de 3 000 astros, planetas y asteroides de todos tipos, todos referenciados con notas descriptivas. Para visualizarlos, basta indicar en qué dirección se quiere apuntar el «telescopio» ficticio y la hora de la observación; entonces el CD-I elige automáticamente el correspondiente mapa del cielo. No queda más que seleccionar los objetos de la pantalla para saberlo todo respecto a ellos. Pese a la calidad de este CD-I, resulta un poco frustrante la elección de la plataforma Philips, ya que el número de lectores CD-I es muy limitado. Pero el editor promete una nueva versión en CD-ROM.

COMUNICAR CON LOS SORDOS Y CON LOS INVIDENTES

¿Cómo se comunica con sus semejantes una persona sorda y ciega? Es muy sencillo: coloca sus manos entre las manos de su interlocultor y deletrea las palabras con los dedos. Una práctica que, sin embargo, resulta totalmente ineficaz si el interlocutor no habla la misma lengua. Una pequeña sociedad norteamericana, Upstart Robot, acaba de poner a punto un interface para resolver este tipo de problemas. La tecnología utilizada pertenece al campo de la robótica. Una mano electromecánica, constituida por varillas articuladas y motores controlados, está conectada a un procesador, a su vez conectado con ordenador portátil. El interlocutor que desea conversar con la persona disminuida, teclea su texto en un teclado. El procesador traduce las pulsaciones en sus correspondientes ASCII y la mano robot ejecuta los signos correspondientes, la persona minusválida puede leer entonces en sus dedos las frases que se le dirigen. El sistema también funciona en sentido inverso, traduciendo las respuestas a base de signos de un sordo ciego en frases que aparecen en la pantalla del ordenador. Este intérprete cibernético permite la comunicación directa entre dos o más individuos. El departamento de reabilitación del VA Medical Center (en Estados Unidos), que ha desarrollado una prótesis similar llamada Ralph (Robotic Alphabet), y Upstart Robot presentaron sus prototipos en la conferencia «Realidad Virtual y Minusvalías» de San Francisco el pasado junio. Comentarios de un ingeniero de Hewlett Packard, a su vez minusválido: «Es menos sutil que una mano humana, pero puede ser un buen traductor». B. Smallridge, de

(pasa a la página siguiente)

TÉCNICA E INDUSTRIA

(viene de la página anterior)

Upstart Robot, tiene la intención de hacer de él una ayuda a la telecoluminación para minusválidos desarrollando un interface telefónico. El sistema así conectado a la red permitirá que los sordos y ciegos reciban llamadas telefónicas y puedan contestarlas, y también les permitirá conectarse a las terminales de las redes de comunicación tipo Internet. Un ejemplo instructivo de la utilización de la tecnología para extender las capacidades humanas.

RECICLADO DE TUBOS CATÓDICOS

A la hora de reciclar chatarra electrónica presenta un gran problema el tratamiento de los tubos catódicos. Su envolvente de vidrio está revestida internamente por sustancias problemáticas que deben eliminarse como desechos tóxicos. Como dichas sustancias son difíciles de separar, la mayor parte de los tubos acaba en el vertedero de residuos tóxicos. El grupo Proyectos Industriales de Siemens y la empresa de reciclado de Nuremberg Hetzel & Co. han desarrollado para ello un procedimiento que permite eliminar automáticamente dicha capa de material tóxico. Para ello se corta con sierra el tubo en un plano paralelo a la pantalla. Utilizando un chorro de agua a 60 bar se desprende completamente el revestimiento del lado interno de la pantalla. El agua se limpia en un circuito cerrado y puede utilizarse nuevamente. Con ello ya sólo es necesario eliminar en vertederos especiales las sustancias nocivas (metales pesados, tierras raras), el vidrio puede reciclarse totalmente.

NITRÓGENO LÍQUIDO EN EL TÚNEL AERODINÁMICO

En Colonia, a mediados de 1993, entró en servicio el túnel aerodinámico más moderno del mundo. Este «túnel aerodinámico transónico europeo», o más brevemente ETW en sus siglas alemanas, es un proyecto conjunto de Francia, Gran Bretaña, Países Bajos y Alemania. La instalación, cuyo coste asciende a 660 millones de marcos, sirve para la simulación de corrientes de aire con maquetas de aviones a escala reducida y a las velocidades normales en los vuelos comerciales. Lógicamente, la necesaria reducción de escala en las maquetas obliga a aplicar leyes aerodinámicas de semejanza para poder trasladar sus resultados a las condiciones reales. Lo cual, a su vez, significa que también hay que aumentar la densidad del gas circulante. Para ello, en la corriente de aire del túnel se pulveriza nitrógeno líquido, enfriado a una temperatura de −180 °C. Para este fin, Messer Griesheim suministra cada año 70 000 toneladas de nitrógeno líquido, que tiene que ser extremadamente anhidro para evitar el deterioro de las maquetas por partículas de hielo. Tal grado de calidad sólo ha podido asegurarse gracias a un nuevo plan de suministro, en el que la cadena de abastecimiento consta de una flota de vehículos cisterna y una estación de descarga con control analítico. En ella, a lo largo de dos zonas paralelas se descargarán en el futuro hasta diez cisternas al día.

brevemente

VISITAS AL CENTRO DE LA TIERRA

Cuando su volumen es importante, resultan indispensables sistemas específicos de representación de los datos científicos. Esta situación se encuentra , en particular, en el campo de la prospección petrolífera, en la que el científico tiene que tener simultáneamente en cuenta las estructuras geológicas, los datos sísmicos, el emplazamiento de los depósitos de nafta, etc. El Instituto francés del petróleo acaba de iniciar un estudio sobre la eventual utilización de técnicas de realidad virtual. Este estudio apunta a explorar las diferentes posibilidades que ofrecen estas técnicas: inmersión en una representación tridimensional de los datos obtenidos sobre el terreno, navegación por el interior de los datos por medio de diversos periféricos (guante de datos, joystick, etc.). En este caso la preocupación esencial no es el realismo de cada representación; el objetivo es hacer de las técnicas de lo virtual auténticas herramientas de investigación científica.

INFORMÁTICA

NUEVA BASE DE DATOS DE CONTACTOS DE INVESTIGACIÓN

CORDIS (Servicio de Información sobre Investigación y Desarrollo de la Comunidad Europea) pone ahora a disposición de los usuarios de ordenadores una amplísima base de datos con contactos de investigación, mediante un servicio *on-line* al que se accede a través de modem vía ECHO (Organización Central de la Comisión Europea).
Esta base de datos proporciona valiosa información a empresas que desean utilizar o conocer más a fondo las investigaciones financiadas por la Unión Europea (UE). Resulta de especial importancia en el desarrollo de las nuevas tecnologías que la industria necesita para la creación de los productos del mañana. El acceso a información sobre investigaciones de la UE y la aportación de los contactos idóneos son las dos funciones fundamentales de la nueva base de datos. Esta reciente incorporación a la gama de bases de datos CORDIS podría ahorrar, a quienes deseen información y contactos, un tiempo valioso en la investigación de fuentes de información específica para un área determinada.
Esta base de datos, la novena de CORDIS, proporciona contactos en toda Europa para el asesoramiento a los usuarios sobre programas de investigación y desarrollo tecnológico (I+DT) llevados a cabo en la Unión Europea. La base de datos incluye contactos referentes a los programas desarrollados en la UE, el Área Económica Europea y Europa Central y del Este. La base contiene información sobre la Comisión y otras instituciones europeas responsables del desarrollo de las políticas de la UE. También facilita los nombres e información para contactar con las personas a cargo de los programas de investigación específicos, representantes nacionales de los comités de dirección de los programs y personas de contacto de los programas de I+DT de la UE a nivel nacional, así como contactos nacionales ajenos a la UE, tales como EUREKA (Agencia de Coordinación de la Investigación Europea), COST (Cooperación Europea en el Sector de la Investigación Científica y Técnia) y la Agencia Espacial Europea.

IMPRESORA LÁSER DIN-A3

Epson Ibérica lanza al mercado un producto que combina las más altas prestaciones en tecnología láser con su característica principal: permite la impresión de documentos hasta formatos DIN-A3. Se trata del modelo Epson EPL-9000, impresora láser de 8 ppm (DIN-A4) y 600 ppp de resolución, que incorpora la tecnología de mejora BiRITech con lo cual se obtienen resultados con calidad equivalente a 1 200 ppp. Este modelo incorpora un procesador RISC SPARC de altas prestaciones, las emulaciones más utilizadas en este tipo de periféricos: PCL5e, FX, ESC/P2 y EPSON GL/2 (Plotter) y, opcionalmente, PostScript nivel 2, que facilita la conexión a entornos Apple. Viene equipada con 2 Mb de memoria ampliables a 64 Mb y 45 fuentes de letra escalables. Incorpora una bandeja con capacidad para 250 hojas DIN-A3. Ofrece la posibilidad de funcionamiento multiusuario y multiemulación que permite que hasta 3 ordenadores tipo PC y un Apple se conecten silmultáneamente utilizando cada uno de ellos la emulación que necesiten.
La EPL-9000 es adecuada para múltiples funciones: CAD-CAM, ingeniería, arquitectura, autoedición, borradores de imprenta, resultados y estudio financieros detallados, listados de grandes bases de datos, en entornos corporativos, etc. La máquina se sirve con sus drivers específicos para entorno Windows que aprovechan todas las prestaciones de este modelo, con fuentes de letra de pantalla y panel de control remoto.

NUEVA GENERACIÓN DE PROYECTORES

Hasta ahora, siempre que se ha querido dar una conferencia, hacer una presentación cuidada ha sido preciso recurrir a los proyectores de transparencias o, en su caso, a los proyectores de opacos como medio audiovisual de apoyo a la explicación o presentación. Mediante el proyector de transparencias resultaban más sencillas las preparaciones del material de ayuda, pero resaltaba la dificultad y coste cuando el materiala proyectar era en color. En estos casos el proyector de cuerpos opacos resolvía el problema pagando como tributo su dificultad de manejo, enfoque y utilización.
Tratando de compaginar las ventajas de ambos sistemas el proyector NumaVisión pone a disposición de profesores, conferenciantes y empresas las facilidades de un retroproyector unidas a las posibilidades del color, y ausencia de preparación que ofrecía el proyector de opacos. Incluso, si en su presentación es preciso proyectar cuerpos tri-dimensionales (de pequeño formato) podrá hacerlo también sin manipulación alguna del proyector.

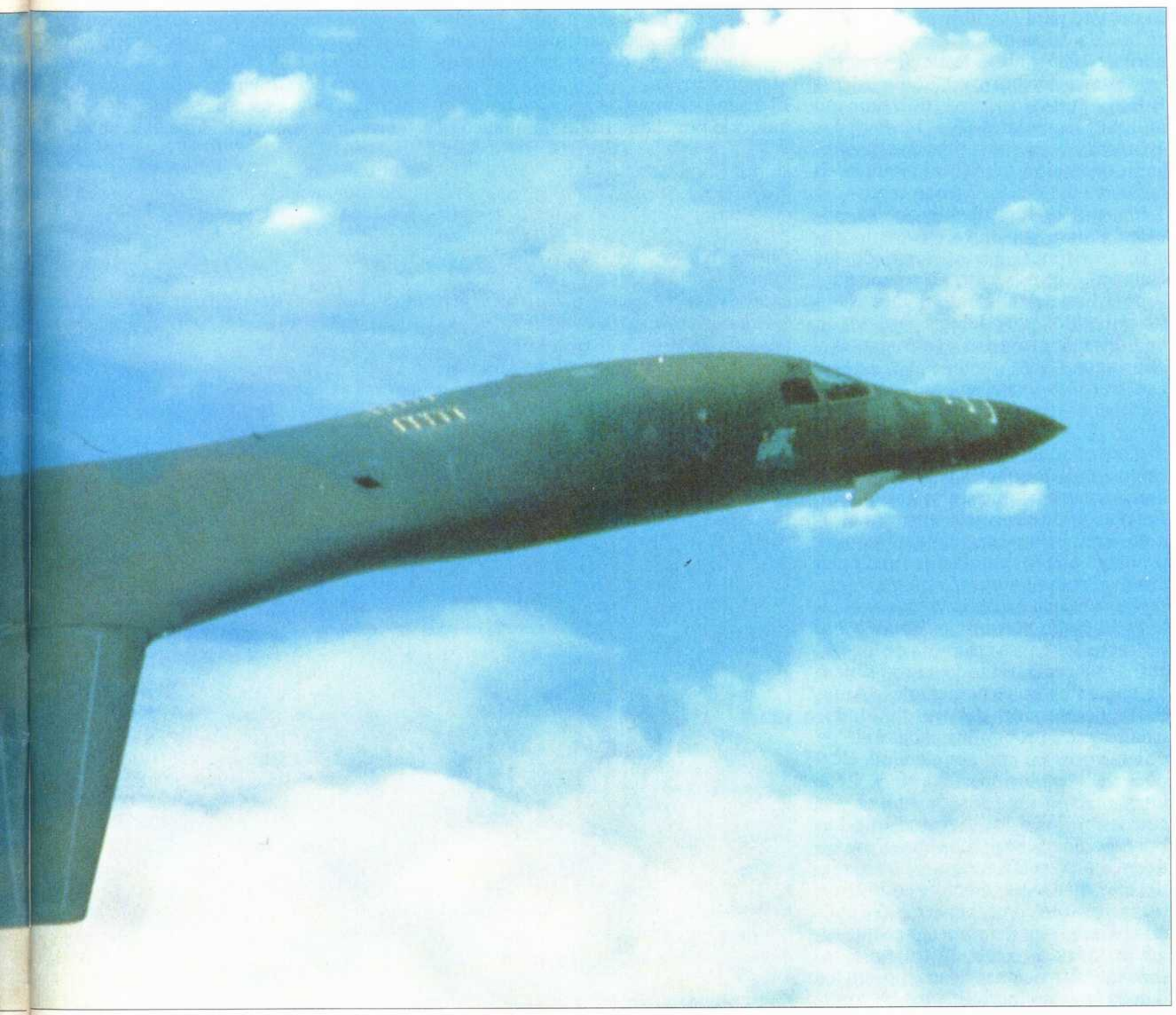
EL TRASFONDO DE LOS FRACASOS

ROBERT BELL

Un telescopio espacial «miope», una sonda que desaparece antes de iniciar su observación de Marte, satélites perdidos, aviones defectuosos: desde hace unos años, la tecnología norteamericana parece totalmente desorientada. La competencia técnica no se discute, pero el dinero es incriminado en todas las fases del desarrollo de los proyectos. Corrupción, falta de control, secretos, conflictos de intereses, etc. La investigación realizada por R. Bell denuncia los disfuncionamientos que mantienen el círculo infernal de los fracasos tecnológicos.

Cuando enviaban astronautas a la Luna, los Estados Unidos ofrecían al mundo una imagen de omnipotencia tecnológica. En 1986, sin embargo, esta imagen explosionó con el trasbordador Challenger. Desde entonces, la tecnología norteamericana no cesa de acumular dispendiosos fracasos. Algunos hechos y cifras recientes permiten hacerse una idea de la magnitud del fenómeno. En 1990, la NASA, la agencia norteamericana, puso en órbita un telescopio espacial de 1 500 millones de dólares llamado Hubble. Lamentablemente, su espejo principal era defectuoso. En noviembre de 1993, la Cámara de representantes anuló el proyecto del acelera-

TECNOLÓGICOS NORTEAMERICANOS



dor de partículas gigante, el SSC (*Superconducting Super Collider*). Los gastos que ha supuesto la construcción, apenas iniciada, de este instrumento de investigación son tales que algunas estimaciones prevén un coste final unas cinco veces mayor que el presupuesto adoptado inicialmente. A fines del verano de 1993, en el espacio de dos meses, los Estados Unidos perdieron cuatro satélites: un satélite espía de mil millones de dólares, un satélite meteorológico de cien millones de dólares, un satélite de observación de la Tierra, Landsat 6, de doscientos veinte millones de dólares, y el satélite Mars Observer, de mil millones de dólares.

En lo tocante al armamento, el fracaso reconocido más espectacular fue la anulación, el 7 de enero de 1991, de la fabricación para la marina del caza A-12, llamado «Stealth». En aquel momento, el presupuesto inicial destinado a investigación y fabricación había superado ya los mil millones de dólares. Las estimaciones, de haberse proseguido el programa, evaluaban el coste suplementario total en una cifra comprendida entre dos mil y nueve mil millones de dólares. Este caza de portaviones, en principio invisible para los radares, pesaba cuatro toneladas de más y su primer vuelo de pruebas, ya aplazado una vez, tenía que haberse producido dieciocho meses an-

Figura 1. De 1985 a 1988, el ejército del aire norteamericano recibió cien bombarderos B-1B por un valor de treinta mil millones de dólares. No obstante, este avión, destinado a sustituir al B-52, nunca ha sido utilizado en ningún conflicto y probablemente nunca lo será. Incapaz de engañar a los radares enemigos, ni tan siquiera de detectar un misil que lo ataque por detrás, el B-1B no puede volar por encima del agua, del barro o de la nieve a temperaturas comprendidas entre -7 y + 9 °C debido al riesgo de formación de escarcha en los motores. ¿Cómo es posible que los Estados Unidos, que enviaron un hombre a la Luna, cometan hoy unos errores tecnológicos tan caricaturescos? Por lo visto, los grandes proyectos, muy a menudo, tienen un solo objetivo: dilapidar fondos públicos. (Foto Department of Defense, USA.)

ROBERT BELL es profesor de economía del Brooklyn College University, en Nueva York. Es autor de varias obras, la última de las cuales, *Impure Science*, analiza las relaciones entre la ciencia, el dinero, los poderes públicos y los políticos en Estados Unidos. También es autor del dossier «El caso Gallo: las trampas de la administración norteamericana», *Mundo Científico*, nº 133, marzo, 1993.

tes. El gobierno norteamericano detuvo ahí los gastos después de haber perdido 1 500 millones de dólares. Mucho más dispendioso, el fracaso del bombardero B-1B, encargado por el ejército del aire para sustituir el B-52, nunca ha sido oficialmente admitido. Entre abril de 1985 y abril de 1988, el ejército del aire recibió cien bombarderos B-1B, por un valor de más de treinta mil millones de dólares (fig. 1). Pero los aparatos no fueron utilizados en ninguna operación militar, ni siquiera en la guerra del Golfo. Tienen tantos defectos que es improbable que se empleen alguna vez, salvo en circunstancias gravísimas. La «Guerra de las Galaxias», otro fracaso no reconocido, supone hasta el momento treinta y cuatro mil millones de dólares perdidos en una serie de proyectos extravagantes y abortados.

Los fracasos tecnológicos, ¿son realmente más numerosos que hace veinte años? ¿O se trata sólo de un efecto de mediatización? Por lo que respecta a explosiones de cohetes y fallos de satélites, expertos como John Pike, de la Federación de científicos norteamericanos, piensan que en realidad es muy probable que los artefactos funcionen tan bien como antes. «*Desde 1957*, observa, *han fracasado aproximadamente el 10 % de nuestras misiones.*» No obstante, las causas técnicas de los fracasos más recientes todavía son objeto de encuestas gubernamentales. Antes de la destrucción del transbordador Challenger, la NASA estimaba el riesgo de catástrofe en uno por cien mil. Después de la explosión, advierte J. Pike, la estimación fue revisada en uno por cincuenta.(1) En los fracasos que habrían podido ser evitados interviene sin duda una exageración grosera de lo realizable; dicha exageración conduce a enmascarar los problemas reales cuando aparecen, en un momento en que todavía podrían recibir un tratamiento. Pero las afirmaciones falaces no son los únicos factores incriminados. A continuación se presentan nueve motivos de disfuncionamiento que, tomados en conjunto, garantizan casi el fracaso de un proyecto de alta tecnología.

La primera causa de fracaso es indiscutiblemente el «desarrollo simultáneo». La secuencia natural de desarrollo de un proyecto consiste en poner a punto los componentes clave de manera autónoma, paso a paso. En cada etapa, las pruebas permiten detectar eventuales errores de concepción y redefinir enteramente el sistema en caso necesario. Con el desarrollo simultáneo, en cambio, los distintos componentes se desarrollan al mismo tiempo y el producto «acabado» se fabrica inmediatamente en serie. Por sorprendente que pueda parecer, los proveedores no esperan la puesta a punto de un prototipo conforme a las exigencias previstas. Producen de una vez, en serie, máquinas no totalmente a punto que sin embargo el Pentágono decide considerar aceptables. Esta actitud lleva a tener que reparar o destruir productos «terminados».

El último ejemplo de fracaso conocido inducido por el desarrollo simultáneo es el del bombardero estratégico B-1B (fig. 1). Según se desprende de una encuesta de la comisión de operaciones gubernamentales del Congreso, presidida por John Conyers, representante de Michigan, «*El grado operacional máximo del aparato (que exige que todos los sistemas sean operativos) es actualmente de cero*».(2) Entre otros problemas, el aparato, carente de sistemas de defensa adecuados, es incapaz de detectar un misil que lo ataque por detrás y no puede engañar a los radares enemigos. Pero su defecto más importante parecería increíble si no lo encontráramos citado en el informe oficial: «*El riesgo de formación de escarcha en los motores impide hacerlos girar encima del agua, del barro, o de la nieve en fusión, a temperaturas comprendidas entre* −7 y +9 °C. Lo cual no parece muy adecuado para un bombardero destinado a volar a baja altitud por encima de la ex Unión Soviética».(3)

UN DESPILFARRO FAVORECIDO POR LA UTILIZACIÓN DEL SECRETO

El desarrollo simultáneo ha jugado un papel clave en las dificultades y fracasos de gran número de otros proyectos de primera importancia, entre los cuales figuran el programa de transporte C-17, en fase de puesta a punto y de producción, y el del SSC, acelerador de partículas puramente civil interrumpido en 1993. La anulación de este último proyecto representa la pérdida de los dos mil millones de dólares ya gastados, a los que hay que añadir varios cientos de millones de dólares para la clausura del proyecto. En el momento de tomarse la decisión, el coste de «*la construcción tradicional*», es decir, del túnel, de sus paredes y de su equipo electrónico —(fig. 2)— superaba ya en 630 millones de dólares el presupuesto previsto, de 1 250 millones de dólares.(4) Pero los gastos suplementarios más importantes se esperaban en los elementos de alta tecnología desarrollados simultáneamente, especialmente los 8 150 imanes gigantes (*Collide Dipole Magnets*) que debían ser fabricados en serie, cosa que nunca se había hecho hasta entonces. Aunque el proveedor logró fabricar manualmente unos cuantos prototipos, no consiguió la fabricación a gran escala. El director general del laboratorio del SSC, Edward M. Siskin, declaró a una comisión del Congreso: «*Si los imanes plantean un problema considerable, entonces la financiación global del proyecto plantea un problema considerable*»(5)

¿Por qué recurrir al desarrollo simultáneo? «*La justificación habitualmente esgrimida es la existencia de una amenaza inminente, que hace que el aparato sea urgentemente necesario*», explicó el controlador general de Estados Unidos. No obstante, si se tiene en cuenta la necesidad de desmantelar, de corregir o de revisar los aparatos defectuosos, los proyectos probablemente requieren más tiempo que el necesario en un orden normal de cosas y sin duda alguna son muchísimo más caros.

El verdadero motor de los desarrollos simultáneos no es la urgencia sino el dinero. Como escribía un antiguo agregado parlamentario al presidente de la Comisión de las fuerzas armadas en la Cámara de representantes: «*Recuerde mi teorema: para cada dólar gastado actualmente en I + D se hipotecan de diez a veinte dólares (en costes de producción) en los cinco años venideros*».(6) Estas sumas suplementarias destinadas a la producción sólo se pagan al proveedor si éste es capaz de desarrollar el producto con éxito. Pero si en el transcurso de las investigaciones aparece alguna dificultad, el proyecto corre el riesgo de ser abandonado, en cuyo caso la empresa no cobrará. ¿Cuál es la solución? Iniciar simultáneamente los gastos de investigación y de producción. Bastaba luego agitar la bandera roja de la Unión Soviética para justificar el procedimiento. Esta forma particular de extorsión no funcionó con el SSC porque en tal caso no había amenaza.

En los proyectos de alta tecnología, militares o civiles, tiene gran importancia el secreto, que es la segunda causa de fracaso. Ernest Fitzgerald, bien conocido en Estados Unidos por el ahorro que han procurado al ejército del aire sus numerosas denuncias sobre malversaciones, explica que todos estos grandes proyectos conocen sólo dos etapas de elaboración: «*Demasiado pronto para hablar*», durante la cual todos los problemas son silenciados, y «*Demasiado tarde para parar*», momento en el cual raros son los políticos que aceptan reconocer haber dilapidado sumas considerables.

La pérdida total de trescientos cuarenta mil millones de dólares en la iniciati-

va de defensa, la Guerra de las Galaxias, con su sucesión de proyectos extravagantes y abortados y de tests amañados, puede imputarse directamente al secreto. El ejemplo más famoso es un programa de investigación que tenía por objeto un «láser nuclear de rayos X». Se trataba de un dispositivo destinado a proyectar parte de la energía producida por una bomba de hidrógeno con una potencia suficiente para destruir un satélite hasta una órbita de dos mil kilómetros. Toda aplicación de este principio debía tardar diez o quince años en realizarse. No obstante, para obtener más subsidios, Edward Teller, físico especialista en armamento, «hinchó» secretamente la idea presentándola como un arma disponible al cabo de tres años, antes de que el presidente Reagan hubiera terminado su mandato. En una carta confidencial dirigida a un alto funcionario, Teller escribía: «*[Un] solo cañón láser, no mayor que un escritorio, equipado con la tecnología adecuada, podría destruir todos los misiles soviéticos si fueran lanzados en su perímetro de tiro*».(7)

El secreto permitió a Teller defender esta teoría absurda sin que ningún experto competente pudiera contradecirla. El responsable de investigación sobre armas nucleares del laboratorio encargado del estudio del láser de rayos X intentó contradecir a Teller escribiendo a las autoridades competentes, pero su superior jerárquico impidió que las cartas llegara a su destino; además, el recurso a otras vías habría podido considerarse alta traición. «*En aquel momento*, explica, *la mera mención del nombre del proyecto, Excalibur, estaba formalmente prohibida.*»(8)

El secreto permitió ocultar temporalmente los problemas del SSC, un proyecto civil. Cuando el representante C. Dingell envió al personal de otras agencias gubernamentales para que investigara los libros de cuentas, se descubrió que el acceso a todos los documentos, incluidos los recortes de artículos del *New York Times*, había sido prohibido por la principal empresa involucrada, Universities Research Associates Inc., una asociación de setenta y nueve grupos de investigación norteamericanos y canadienses. Los documentos llevaban las menciones «información gubernamental confidencial» y «secreto comercial».(9)

El secreto favorece una tercera causa de fracaso: los directores del proyecto sólo revelan buenas noticias a fin de conservar el proyecto a cualquier precio. Ilustra este aspecto del problema el caso actual del transportador C-17 del ejército del aire (fig. 3). Este avión enteramente electrónico, altamente informatizado, debe despegar y aterrizar en pistas muy cortas. En el curso de una encuesta sobre los problemas que presenta el avión, el inspector general adjunto del departamento de defensa declaró ante el representante Conyers: «*La evaluación de los resultados efectuada por* [el director del programa del C-17] (...) *había insistido en que el Programa C-17 se desarrollaba muy satisfactoriamente y en que los costes y plazos estaban "estabilizados"*». Pero el inspector general adjunto subrayó que lo que sucedía era precisamente lo contrario: "*el Programa C-17 estaba amenazado por el peso de su coste añadido, por las demoras excesivas y por los problemas técnicos... Más tarde*, [el director del programa] *fue felicitado por sus resultados y fue ascendido en el ejército del aire. En cambio* [otro dirigente], *coronel del ejército del aire, que había actuado para proteger los intereses del*

Figura 2. En otoño de 1993, la construcción del acelerador gigante de partículas, el SSC, fue interrumpida por la Cámara de representantes.
Sólo se había empezado la construcción de túnel y ya se había rebasado el presupuesto de 630 millones de dólares. Se esperaban costes añadidos más consecuentes en el desarrollo de los elementos de alta tecnología, sobre todo los 8 150 imanes gigantes, cuya fabricación en serie nadie había logrado idear. En Estados Unidos, muchos fracasos tecnológicos son debidos al «desarrollo simultáneo» de todos los elementos de un sistema. Este procedimiento suele impedir replantear el proyecto a tiempo, ya que el defecto sólo aparece cuando el producto está terminado. (Foto Sygma.)

(1) *The shuttle is going to blow up before the end of this decade*, testimonio de J. Pike ante la Cámara de representantes, 5 de mayo de 1993, p. 62.
(2) *B-1B strategic bomber: system review and recommandations*, quincuagésimo quinto informe de la Comisión de operaciones gubernamentales de la Cámara de representantes, 2 de diciembre de 1992, p. 3.
(3) *Ibid. 2*, p. 5.
(4) *Super collider is over budget and behind schedule*, GAO/RCED-93-87, p. 3.
(5) *The department of energy's management of the Superconducting super collider*, audiencia del 30 de junio de 1993 de la subcomisión investigadora de la comisión de energía y comercio de la Cámara de representantes, p. 167.
(6) R. Bell, *Impure Science*, John Wiley & Sons, 1992, p. 91.
(7) *Ibid. 6*, p. 242.
(8) *Ibid. 6*, p. 87.
(9) *Ibid. 6*, p. 93.
(10) *C-17 airlifter program*, audiencia ante la subcomisión de leyes y seguridad nacional de la comisión de operaciones gubernamentales de la Cámara de representantes, 103° Congreso, primera sesión, 17, 18 de mayo y 22 de abril de 1993, p. 10.

gobierno, fue criticado por su falta de espíritu de equipo''.(10) El ejército del aire le confió unas misiones detestables y no tardó en dimitir.

Esta situación no es única. Cosas similares ocurrieron con el caza A-12, el SSC y gran número de otros proyectos. Los directores de programas gubernamentales y otros funcionarios tienen un claro interés en que los proyectos no se interrumpan (con el fin de que su carrera no se estanque). Dado que estas personas representan al gobierno, el conflicto de intereses es patente.

Los problemas técnicos del C-17 ilustran a la perfección el tipo de cosas que los directores de programas tienden a encontrar aceptables. En primer lugar, las alas del avión pueden romperse bajo tensiones menores de lo previsto. Durante un ensayo aerodinámico en el suelo, el 1 de octubre de 1992, las alas se quebraron bajo presiones menores que las que supuestamente estaban capacitadas para soportar —el 150 % de la carga máxima (fig. 4)—. Se efectuaron modificaciones y las alas fueron sometidas a un segundo ensayo el 10 de setiembre de 1993. Éste fracasó una vez más, aunque el ejército del aire afirmara que ciertas partes del ala habían alcanzado el límite de resistencia previsto. El problema, por supuesto, es que, en misión, el ala *entera* está en el aire. Según los expertos en aeronáutica, las alas de un avión en carga máxima que atraviesa una tormenta estarían sometidas a presiones superiores a las del test y más brutales. Siete aviones de este tipo vuelan actualmente, dos de los cuales se consideran «operacionales». Las alas de los seis primeros no podrían soportar siquiera los primeros tests estáticos, anteriores al reforzamiento parcial. En segundo lugar, siempre según los expertos, todos los aviones, o casi, están equilibrados cuando no llevan carga. Pero éste no es el caso del C-17, cuya cola es demasiado pesada. Se trata de algo extremadamente peligroso. Si los motores se pararan brutalmente, el avión caería de cola y el piloto sería incapaz de estabilizarlo. Para ayudarlo a caer correctamente, hay que lastrar el avión con dos bloques de cemento de 3,5 toneladas cada uno, situados lo más lejos posible de la bodega en la parte delantera del aparato. Por último, el avión es incapaz de despegar y aterrizar en pistas cortas, objetivo para el que fue diseñado. El sistema informático desarrollado simultáneamente, que debería permitirle realizar este cometido, no ha sido terminado y, según varios investigadores, especialmente del Pentágono, el manual de pilotaje enviado al ejército del aire recomienda explícitamente no tratar de utilizar pistas cortas. Por supuesto, los sistemas informáticos podrían perfeccionarse, pero hay que recordar que los programas destinados al bombardero B-1B no han sido realizados, ni siquiera después de la construcción de todos los aviones.

Los conflictos de intereses a que están sometidos los directores de programas gubernamentales tal vez no serían tan catastróficos de no haber una cuarta causa de fracaso: el poder omnímodo de los proveedores. Quiero decir con eso que las empresas están más enteradas del proyecto que los mandatarios gubernamentales que lo supervisan.

En el caso del telescopio espacial Hubble (fig. 5), la hegemonía del fabricante del espejo fue el resultado de la escasa renovación de los cuadros de la empresa frente a la rápida renovación de los directores de proyectos gubernamentales. Después del descubrimiento del fallo del espejo principal, el senador Al Gore (actualmente vicepresidente de Estados Unidos) hizo notar durante una investigación ante el Congreso que «*los problemas encontrados por la NASA al supervisar la fabricación del telescopio Hubble se comprenden advirtiendo que durante los doce años de desarrollo hubo en total quince directores de programas entre las bases de Goddard y Marshall y la sede de la NASA*».(11) Ninguno de los ejecutivos convocados por Gore para explicar el fracaso del Hubble participaba en el programa cuando se tomaron las importantes decisiones relativas al espejo principal.

Sin duda, la hegemonía del fabricante ha jugado un papel de primera impor-

Figura 3. Para no perder un proyecto, los responsables de su realización sólo revelan las buenas noticias. En los proyectos militares, sobre todo, el secreto les ayuda a ello. Así, el ejército del aire aceptó el transportador C-17 pese a todos sus defectos. Calificado de ordenador volante (56 sistemas informáticos, 80 microprocesadores, 1,3 millones de líneas de programas previstas), ha sido construido sin que nadie haya conseguido crear el software necesario. Aunque está teóricamente capacitado para aterrizar en pistas cortas, el manual de pilotaje desaconseja formalmente hacerlo. Por último, si los motores se detuvieran, el avión caería de cola. Para ayudarlo a caer de morro, transporta en su parte delantera, a una cierta distancia de las bodegas, dos bloques de hormigón de 3,5 toneladas cada uno que ayudan al piloto a estabilizar el aparato. La realización de dicho avión, rodeada de secreto militar, ha conseguido sustraerse a un cierto número de controles (Foto Departamento de Defensa, USA.)

tancia en la construcción del espejo defectuoso. El principal proveedor del espejo principal era la sociedad Perkin-Elmer, que fabrica para el Pentágono componentes destinados a satélites militares. La NASA había solicitado a responsables de esta empresa que encargaran un espejo de repuesto a otra empresa. Estos eligieron Eastman-Kodak, que no había conseguido el contrato en el primer concurso de ofertas. El espejo fabricado por Kodak, cuya perfección fue comprobada, fue entregado rápidamente. El principal científico que trabajaba en Hubble trató sin éxito de convencer a Perkin-Elmer de que se utilizara el espejo de Eastman-Kodak. El 13 de noviembre de 1993, el inspector general de la NASA declaró al Congreso: «*Las personas interrogadas han explicado que si el espejo fabricado por Eastman-Kodak hubiera sido elegido para ser integrado a la construcción del telescopio, las posibilidades de Perkin-Elmer de obtener otros contratos con el gobierno se hubieran visto seriamente comprometidas*».(12)

«Pero, ¿tenía la sociedad Perkin-Elmer razones para dudar de su propio espejo? Sin duda alguna, según el inspector general. «*Había pruebas evidentes de errores en todos los estadios del proceso de fabricación del espejo*». Y concluía diciendo: «*La sociedad Perkin-Elmer sabía o hubiera debido saber que su espejo no respondía al encargo*».(13) El problema procedía de un defecto de una máquina —el «corrector de reflexión»— empleada para verificar y fabricar el espejo. Se trata de una cámara especial que efectúa una cartografía de la superficie del espejo. Las imágenes que produce, o interferogramas, comprenden una serie de líneas claras y oscuras. La presencia de líneas rectas indica que la forma del espejo es correcta. La de líneas onduladas indica que no lo es. Los ingenieros de Perkin-Elmer obtuvieron líneas onduladas en varias ocasiones, pero las ignoraron y no trataron de averiguar su causa, como tampoco informaron a la NASA de las dificultades. En un test particularmente importante, las líneas eran rectas en el centro del interferograma y onduladas en los bordes. Los ingenieros de Perkin-Elmer cortaron el centro de la gráfica y no mostraron más que esta parte a la NASA, adjuntándole un documento interno de la sociedad. Los investigadores se encontraron con la ampliación de un interferograma recortado. El documento «*amputa el interferograma allí donde empiezan las deformaciones*», declaró el inspector general.(14)

Figura 4. Uno de los problemas del transportador C-17 (véase fig. 3) consiste en que las alas se rompen bajo presiones menos importantes de lo previsto. En una tormenta, las alas de un C-17 sufrirían presiones superiores a las del test, a pesar de lo cual están actualmente en servicio siete aviones de esta clase. ¿Por qué los directores de programas aceptan tales situaciones? A menudo, su futuro personal está ligado a la continuidad del proyecto. Así, un coronel del ejército del aire, que había tratado de defender los intereses del gobierno en el caso del C-17, fue obligado a dimitir. Hay intereses de este tipo en varios grandes fracasos tecnológicos.

Esta hegemonía de los fabricantes sería menos problemática si los proveedores tuvieran que entregar un aparato que funcionara. Pero en general no es así. Como explicó Ernest Fitzgerald en un memorándum interno del ejército del aire, «*Los principales proveedores de la Defensa ganan dinero vendiendo gastos que el gobierno les reembolsa*». El gobierno reembolsa los gastos concediéndoles un beneficio confortable, a condición de que se trabaje «*lo mejor posible*». «*Los proveedores siempre prefieren que el producto acabado sea correcto. Pero de no ser así, invocan los riesgos derivados del hecho de trabajar en los límites del conocimiento*», añade Fitzgerald. Este tipo de contratos, muy corriente en el seno del gobierno federal, es la quinta causa de fracaso. La mayor parte de los problemas del SSC derivan de la naturaleza de los contratos. El inspector general del departamento de Energía citaba específicamente «*una interpretación demasiado amplia de la provisión sobre los gastos reembolsables*» como uno de los principales factores responsables de los masivos costes añadidos del proyecto.

En 1986, el antiguo director general y tres cuadros superiores de General Dynamics, importante proveedor del Pentágono, fueron acusados de defraudar al gobierno en relación con un cañón antiaéreo ultramoderno pero inutilizable, el «Sergeant York». Pero todos los cargos fueron levantados en junio de 1987. «*Nos hemos equivocado*», concluyó el fiscal encargado del caso, y añadió que era difícil creer que General Dynamics hubiera podido embolsarse treinta y nueve millones de dólares y luego «*entregar una caja de pernos*». Lamentablemente, el contrato le permitía hacerlo.(15) Tal vez algunos contratos-abismo serían tolerables de no existir una sexta causa de fracaso: el caos y el miedo a la dirección de las empresas bajo contrato.

Tras la desaparición en 1980 del fundador autócrata de la sociedad McDonnell Douglas, su hermano, y luego su hijo, ocuparon el cargo de director general. Ambos sucesores «democratizaron» la empresa. El hijo instauró una política de «Total Quality Management», gestión colectiva en la que todos los empleados eran en principio iguales. Los cuadros superiores dejaron de disfrutar de plaza reservada en el aparcamiento y su función dejó de mencionarse en las tarjetas de identificación. El nuevo presidente director general divulgó un vocabulario en el que figuraban expresio-

(11) *Ibid.* 6, p. 77.
(12) Declaración de B.D. Colvin ante la subcomisión del espacio de la comisión de ciencia del espacio y tecnología de la Cámara de representantes, 16 de noviembre de 1993, p. 10.
(13) *Ibid.* 12, p. 5.
(14) *Ibid.* 12, p. 8.
(15) *Ibid.* 6, p. 77.

nes como «*trabajo de equipo*» y «*toma de reponsabilidades*» de los empleados. El presidente adjunto de Douglas Aircraft declaró en 1990 en la revista *Aviation Week & Space Technology*: «*Como los equipos se sienten más poderosos, los cuadros dudan en dar a los empleados responsabilidades en la producción, la seguridad, el mantenimiento, el control de calidad inicial, los plazos y los costes de producción*».(16) El 13 de febrero de 1989, el heredero sustituyó a nueve directores generales y despidió a cinco mil cuadros superiores. Les dio la oportunidad de presentar su candidatura a cuatro mil puestos, entre los cuales figuraban los que antes desempeñaban, o a otros si lo deseaban. ¿Con qué criterios eran elegidos? «*La experiencia práctica y los diplomas eran secundarios*», explica un antiguo cuadro superior. Lo que sobre todo contaba era «*ser amable con todo el mundo*». Así pues, muchísimos cuadros se encontraron en puestos clave cuyas competencias desconocían casi por completo. Dadas las circunstancias, no es de extrañar que el ejército del aire recibiera unos C-17 «informatizados» sin ordenadores, provistos de alas aproximadas, desequilibrados y lastrados con bloques de cemento.

Casi todas las empresas que trabajan en los grandes proyectos científicos norteamericanos son también proveedoras del Pentágono. El Pentágono suele ser su principal cliente. Ocurre, sin embargo, que un número desorbitado de empresas y en ciertos casos de dirigentes de empresas tienen un historial judicial muy cargado, lo cual arroja nueva luz sobre el término «cultura de empresa» (corporate culture), tan de moda en Estados Unidos. Llegamos con ello a la séptima causa de fracaso en los proyectos de alta tecnología. Las actividades criminales de los proveedores del Pentágono llegaron a ser tan frecuentes durante los años 1980 que la industria acabó estableciendo su propio mecanismo de «autodisciplina», la *Defense Industry Initiative on Business Ethics and Conduct* (Iniciativa sobre ética y conductas comerciales en las industrias de Defensa). Si una de las compañías firmantes de esta «iniciativa» reconoce malversaciones por propia voluntad, su pena queda reducida. No obstante, de los cien principales proveedores del Pentágono, cincuenta y cuatro se negaron a adherirse al programa.

Las principales industrias aeroespaciales han sido condenadas ya a pagar sustanciosas multas al gobierno federal. En 1989, la oficina de inspección general del Pentágono reveló que estaba investigando a General Electric a propósito de un «*contrato sobreestimado de 244 millones de dólares sobre material informático destinado al ejército de tierra*». Un jurado condenó la sociedad en 1990. La General Electric pagó 16,1 millones de dólares al gobierno y decidió no recurrir. El mismo año, la empresa Northrop hizo cesar las diligencias por un valor de 17 millones de dólares.

Hay un caso reciente que merece una explicación detallada, ya que en él se hallan implicadas altas personalidades de la administración Clinton. Uno de los proveedores más importantes del gobierno en lo tocante a material técnico es una firma llamada Science Applications International Corporation (SAIC). En otoño de 1990, la SAIC fue amenazada de procedimiento judicial por haber falsificado informes relativos a la limpieza de depósitos de desechos peligrosos por cuenta de la Agencia para la protección del medio ambiente (EPA). Melvin Laird, miembro del comité director de la SAIC y antiguo secretario de Defensa de Richard Nixon, escribió al fiscal general de Estados Unidos, Richard Thornburg, pidiéndole que no procesara la SAIC y haciendo hincapié en el nombre de tres miembros del comité directivo: el almirante Bobby Inman, el doctor William Perry y el doctor John Deutsch. Según Laird, el presidente G. Bush los había «*distinguido recientemente*» y los había nombrado miembros del nuevo Consejo presidencial encargado de Asuntos Exteriores. Varios senadores protestaron contra el «*giro político*» del caso. Casi un año después, la sociedad se declaró culpable de falsedad y estafa para con el gobierno y pagó 1,3 millones de multas civiles y pe-

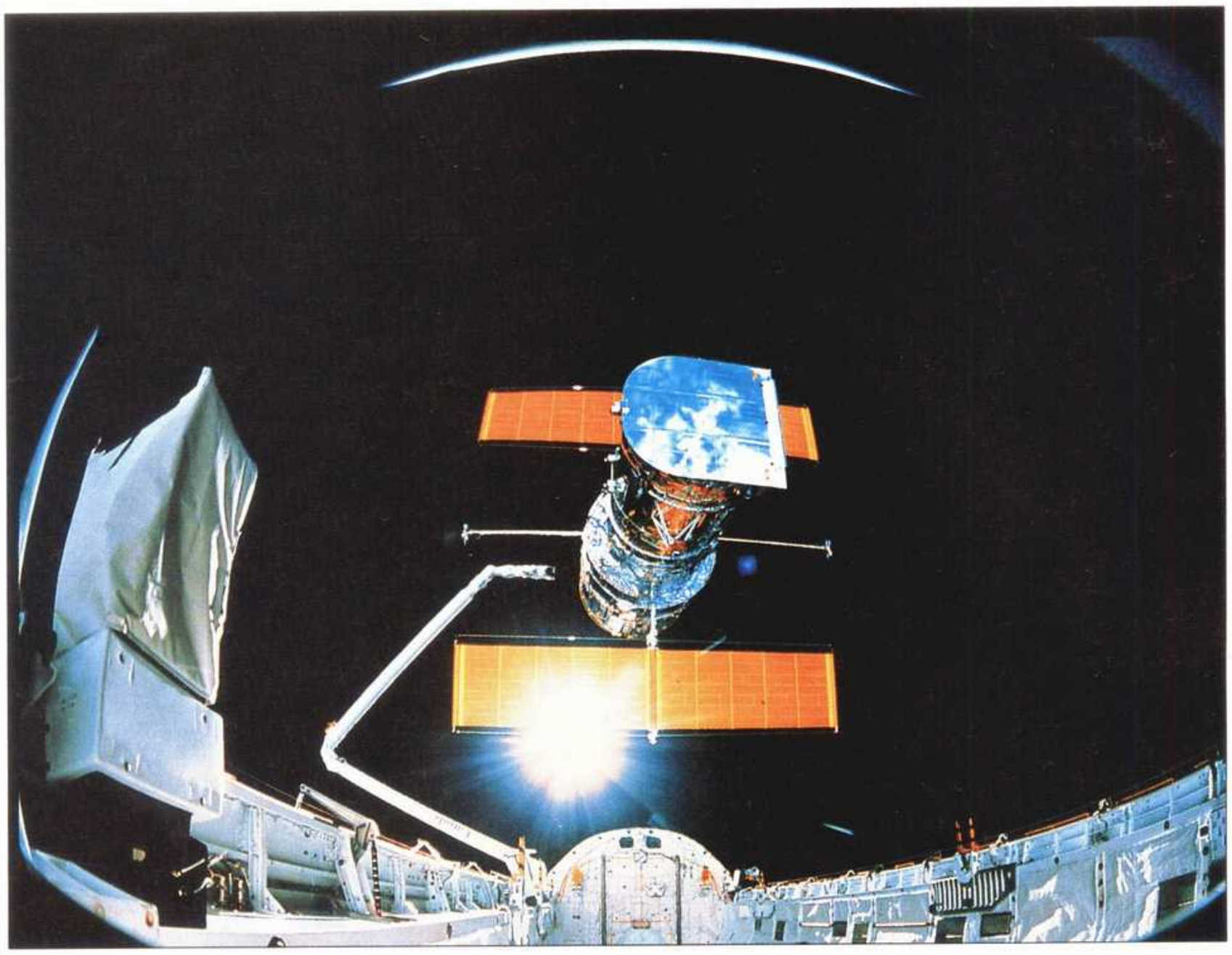


Figura 5. El mundo entero acogió como una gran hazaña técnica la reparación del espejo defectuoso del telescopio espacial Hubble (del que vemos en la foto el panel destinado a protegerlo de los rayos solares durante la puesta en órbita). Estimado inicialmente en 435 millones de dólares, el coste de este instrumento de investigación ha superado finalmente los dos mil millones de dólares, incluida la reparación. No obstante, según consta en informes oficiales, había pruebas evidentes de error en todos los estadios de fabricación del espejo. Para proteger sus intereses, el fabricante no quiso comprometer su propio producto dando prioridad al espejo de emergencia fabricado por una empresa subcontratada. Este ejemplo ilustra las consecuencias de la omnipotencia de algunos grandes proveedores del gobierno norteamericano. (Foto NASA/Cosmos.)

nales, las más elevadas infligidas hasta ahora a un laboratorio científico.(17)

Los tres miembros del comité directivo de la SAIC mencionados en la «demanda de indulgencia» de Laird han vuelto a ser nombrados para cargos importantes. El presidente demócrata Bill Clinton ha propuesto el nombramiento de Bobby Inman para el cargo de secretario de Defensa. Anteriormente había nombrado a William Perry en el segundo cargo más importante de la misma administración, con la responsabilidad de todas las compras —y en particular de las prestaciones de servicios de la SAIC—. John Deutsch había sido elegido ayudante directo de Perry. Así pues, tres miembros del comité directivo de una sociedad culpable de fraude han sido nombrados para cargos que les permiten controlar todos los contratos de la administración que habían estafado. No obstante, tras la revelación de su implicación en este caso y en otros escándalos, Inman retiró su candidatura antes de que el Senado confirmara el nombramiento. La idea de «comprar» el apoyo de miembros del Congreso gracias a la firma de contratos locales se aplica a todas las zonas de influencia de la representación norteamericana y conduce a la octava causa de fracaso: la tecnología politizada.(18)

Concretamente, algunas decisiones técnicas importantes se basan menos en las necesidades del proyecto que en voluntad de disponer de un número importante de empresas subcontratadas. Ello permite prometer beneficios económicos, especialmente en lo tocante al empleo, en un gran número de zonas electorales, con objeto de que una mayoría de representantes apoyen el proyecto en el Congreso. Irritado por esta práctica habitual, un miembro del Congreso preguntó a los directores de empresa presentes en una audiencia: «*Si creéis (...) que el bombardero es el arma perfecta, ¿es tal vez porque está facturado en cada uno de los cincuenta Estados?*». Ninguno de sus interlocutores hizo comentario alguno.(19)

El deseo de innovar puede favorecer la proliferación de contratos con sociedades de alta tecnología; a veces, sin embargo, los motivos son muy discutibles. El C-17, por ejemplo, fue alabado por su avanzada informatización, que le permitía aterrizar en pistas cortas. El avión ha sido calificado de «*ordenador volante*». En teoría, debería albergar cincuenta y seis sistemas informáticos, ochenta microprocesadores y 1,3 millones de líneas de programa. El que nadie haya conseguido todavía averiguar la manera de poner a punto todos los programas necesarios no ha sido óbice para la construcción del avión. El sistema informático de control de vuelo ha sido encargado a varias sociedades subcontratadas. Sin embargo, otro avión de transporte militar, el C-5B, vuela desde hace años; aunque no está muy informatizado, puede, a media carga, aterrizar y despegar en pistas igual de cortas. Cuando está medio vacío, transporta exactamente la misma cantidad de flete que un C-17 lleno. El C-5B no recurre a un pesado sistema informático de control. Puede incluso aterrizar y despegar sin verdadera pista gracias a un tren de aterrizaje complejo.

El principal mecanismo que permite el funcionamiento de la tecnología politizada es el llamado «*buy-in*» (literalmente: reventa a bajo precio) que consiste, para los defensores del proyecto, en subestimar intencionadamente el coste del programa. Todo el mundo sabe qué se está tramando, pero los miembros del Congreso se escudan en los bajos costes aparentes y votan el proyecto para obtener luego contratos en sus circunscripciones. El telescopio Hubble, que costó más de dos mil millones de dólares, incluyendo la misión de reparación en el espacio, se estimó en un principio en 435 millones de dólares. Un importante administrador de la NASA declaró que el programa Hubble «*había provocado el mayor encarecimiento del presupuesto nunca conocido*». Por lo general, los grandes programas científicos norteamericanos acaban costando cuatro veces más que la suma hecha pública inicialmente. ¿Qué dicen los partidarios de dichos proyectos cuando deben explicar este encarecimiento? Respuesta típica de Edward Teller a propósito del láser de rayos X de la Guerra de las Galaxias: «*Me declaro culpable del gran crimen de optimismo*».(20)

Todas estas causas de fracaso podrían controlarse de no existir una novena causa: todos los sistemas de control han sido suprimidos o son inoperantes.

Un procedimiento habitual de control es el recurso a equipos independientes de verificación de la calidad. Pero el inspector general ha descubierto documentos que revelan que las personas encargadas del control de calidad por la NASA fueron mantenidas al margen de las zonas clave de la fabricación del espejo del Hubble en los momentos más críticos. Perkin-Elmer llegó incluso a marginar a su propio equipo de controladores.

Al término de un programa como la construcción del espejo del Hubble, se procede habitualmente a un «balance de fin de trabajo». Es el momento en que deben dilucidarse todos los resultados contradictorios anotados pero ignorados. Se trata del procedimiento de último recurso. Ni la dirección general ni la NASA concedieron al equipo de Perkin-Elmer encargado del espejo la financiación necesaria para un balance normal, que habría debido de durar más de cuatro meses. El balance efectuado por el equipo de fabricación duró unas pocas semanas. Según el inspector general, «*El director de la filial de material de óptica de Perkin-Elmer nos dijo que nunca había visto terminarse un programa con un balance tan rápido*».(21)

En toda organización, el mecanismo clave de control es el presupuesto. Sabiendo de qué presupuesto dispone tal operación específica, los directores de programa deberían ser capaces de detectar inmediatamente los costes añadidos y tomar las medidas adecuadas. Pero cuando la construcción tradicional del SSC empezó a superar masivamente el presupuesto previsto, los dirigentes modificaron en secreto la redacción del presupuesto, dedicando a los trabajos prácticamente todos los fondos de reserva. Luego, anunciaron orgullosamente que el coste de los trabajos era *inferior* al presupuesto concedido. Cuando los investigadores descubrieron que los fondos de reserva habían sido gastados, los dirigentes del proyecto afirmaron que las reservas seguían estando presentes gracias a «*beneficios*» —no precisados— sobre operaciones futuras. Cuando el representante Dingell preguntó al presidente del principal proveedor, Universities Research Associates: «*¿Está usted al corriente de los futuros beneficios?*», éste respondió «*No*».(22)

Otro mecanismo habitual de control consiste en realizar una auditoría contable de empresas bajo contrato. En proyectos federales como el SSC, dicha auditoría habría debido ser llevada a cabo por una agencia, la Defense Contract Audit Agency (DCAA). Uno de los altos funcionarios de la DCAA declaró a la comisión investigadora: «*La mayoría de empresas subcontratadas del SSC no estaban controladas y (...) no se nos pidió proceder a dichas verificaciones*».(23)

Por lo que respesta al C-17, entre agosto y diciembre de 1990, el ejército del aire entregó ilegalmente, en forma de anticipos o de pagos injustificados, 451 millones de dólares a McDonnell Douglas, la cual, sin esta operación, habría quebrado.

Las nueve causas descritas en este artículo remiten todas al mismo problema profundo: en Estados Unidos, los grandes proyectos científicos o militares son meros sistemas de conveniencia que permiten gastar dinero. Mientras el objetivo consista en dilapidar los fondos públicos y no en dar origen a productos de buena calidad, perdurará el ciclo infernal de los fracasos tecnológicos. ■

(16) J.P. Capellupo, citado en «Douglas tightens controls to improve performance», *Aviation Week & Space Technology*, 4 de junio de 1990, p. 16.
(17) SAIC guilty of EPA fraud, *San Diego tribune*, 27 de agosto de 1991, p. 16.
(18) F.C. Spinney, *Defense power game*, The fund for constitutional government, Washington D.C., 1990.
(19) *Ibid.* 5, p. 181.
(20) Citado por W.J. Broad en «Crown jewel of "star wars" has lost its luster», *The New York Times*, 13 de febrero de 1990.
(21) *Ibid.* 12, p. 8.
(22) *Ibid.* 5, p. 303.
(23) *Ibid.* 5, p. 7.

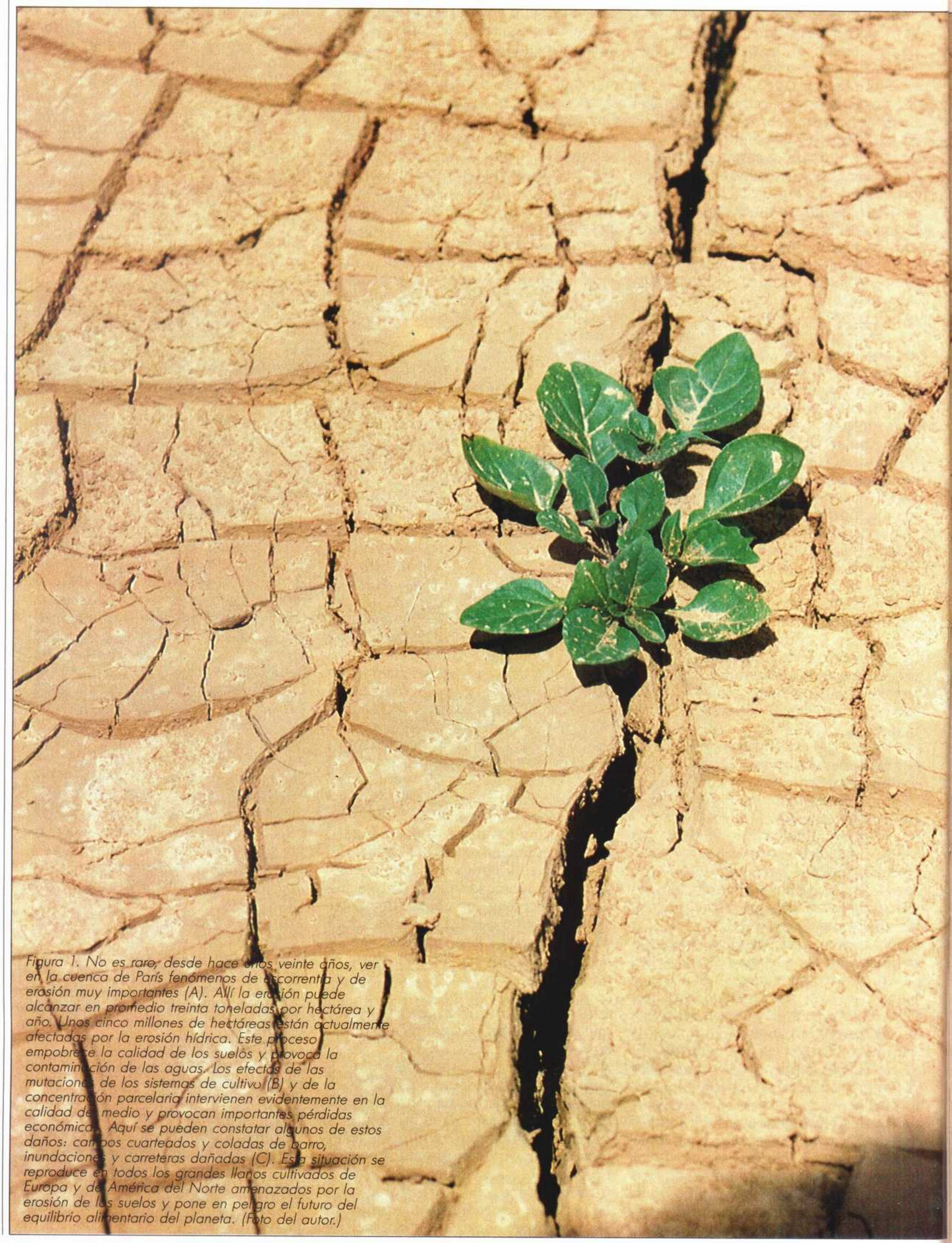
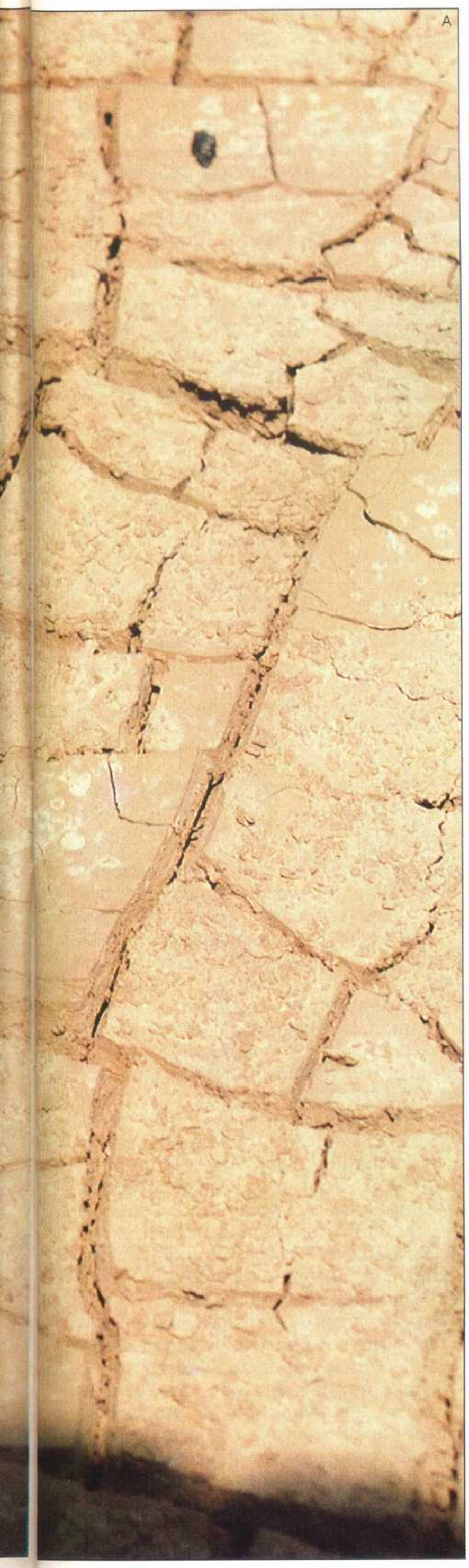


Figura 1. No es raro, desde hace unos veinte años, ver en la cuenca de París fenómenos de escorrentía y de erosión muy importantes (A). Allí la erosión puede alcanzar en promedio treinta toneladas por hectárea y año. Unos cinco millones de hectáreas están actualmente afectadas por la erosión hídrica. Este proceso empobrece la calidad de los suelos y provoca la contaminación de las aguas. Los efectos de las mutaciones de los sistemas de cultivo (B) y de la concentración parcelaria intervienen evidentemente en la calidad del medio y provocan importantes pérdidas económicas. Aquí se pueden constatar algunos de estos daños: campos cuarteados y coladas de barro, inundaciones y carreteras dañadas (C). Esta situación se reproduce en todos los grandes llanos cultivados de Europa y de América del Norte amenazados por la erosión de los suelos y pone en peligro el futuro del equilibrio alimentario del planeta. (Foto del autor.)


A

LA EROSIÓN DE LOS GRANDES LLANOS AGRÍCOLAS

STANISLAS WICHEREK

B

(foto autor)

Los grandes llanos europeos evocan riqueza y fertilidad. Paradójicamente, se enfrentan a un grave problema: la erosión de los suelos. Las mejores tierras del mundo están actualmente amenazadas por una disminución de la fertilidad natural y del rendimiento, así como por inundaciones y coladas de barro. Los cambios en las prácticas agrícolas y la concentración de las parcelas son la causa de esta plaga que provoca contaminación del medio ambiente e importantes perjuicios económicos. ¿Qué se puede hacer a medio plazo para evitar las consecuencias en el plano alimentario? Stanislas Wicherek sugiere en este artículo algunas soluciones. Según él, es urgente que los países afectados inicien el control de su suelo.

C

(Foto autor)

STANISLAS WICHEREK es investigador del CNRS. Dirige el Centro de biogeografía-ecología de la Escuela normal superior de Fontenay-Saint-Cloud (URA 1514 CNRS). También enseña en las grandes escuelas y universidades. Sus trabajos conciernen, entre otros temas, a la degradación de los suelos, campo en el que ha realizado numerosos experimentos sobre el terreno.

A fuerza de resultarnos familiares, los grandes llanos cultivados de Europa (trigo, remolacha azucarera, patatas, etc.), sinónimos de fertilidad y de riqueza, nos parecen un medio bien conocido y sin sorpresas. Durante largo tiempo se consideró que eran medios estables, sin erosión notable, por oposición a los suelos tropicales donde el clima favorece la ablación y el transporte de tierra por el agua y el viento (erosión hídrica y erosión eólica). Pero actualmente están en el centro de graves problemas medioambientales y de acondicionamiento de las tierras agrícolas. En efecto, la aceleración de la erosión de los suelos resulta manifiesta, debido a la acción del clima pero sobre todo de la deforestación, de la mecanización y de la intensificación de la agricultura (fig. 1).[1,2] Estos problemas de erosión, ya identificados desde hace muchos años en las grandes llanuras del Middle West y en las praderas de América del Norte, afectan actualmente al conjunto de las tierras más ricas del mundo, lo que también puede poner en peligro el futuro del equilibrio alimentario del planeta (fig. 2). ¿Hay que esperar? La erosión que afectó a los grandes llanos americanos en los años 1920-1930 y que provocó el «*Dust Bowl*» (nube de polvo) originó una larga serie de estudios de los que los más conocidos son los de H.H. Bennet en 1939 y W.H. Wischmeier y D.D. Smith en 1965. Lamentablemente, estos estudios no han tenido impacto en otros países entre los agricultores y los responsables políticos. En particular, los países europeos no se han sentido implicados por estos problemas de degradación de los suelos. ¿Cómo se puede explicar hoy en día la gravedad de esta situación y evaluar sus riesgos? ¿Qué soluciones adoptar sin alterar radicalmente las orientaciones socioeconómicas?

país	población (millones de habitantes)	superficie total (1 000 km²)	SAU/ superficie total (%) (SAU: superficie agrícola utilizable)	tierras arables/ SAU (%)	parte de la población activa en la agricultura (%)
UE	346	2260	58	52,5	7,4
EUROPA DEL ESTE	137	1246	69	65	18
EX URSS	284	22275	27	62	15
USA	255	9372	46	48	2,9
JAPÓN	124	372	15	51	7,9
CHINA	1166	9596	33	11	61
CANADÁ	27	9959	5	85	6
FRANCIA	57	551	59	56	3,6

Algunas cifras permiten describir rápidamente la situación agrícola de los principales países más industrializados, donde se sitúan la mayor parte de las tierras agrícolas fértiles del mundo y el contexto climático templado favorable a todos los tipos de cultivos. Hay que señalar que Europa posee unas potencialidades y unas bazas de primer orden para desempeñar un papel preponderante a escala del globo en la agricultura y en la industria agroalimentaria, con la condición de que se respeten algunas reglas con objeto de desarrollar una agricultura duradera. (Según J. Beaujeu-Garnier, Images économiques du Monde, *1992.)*[3]

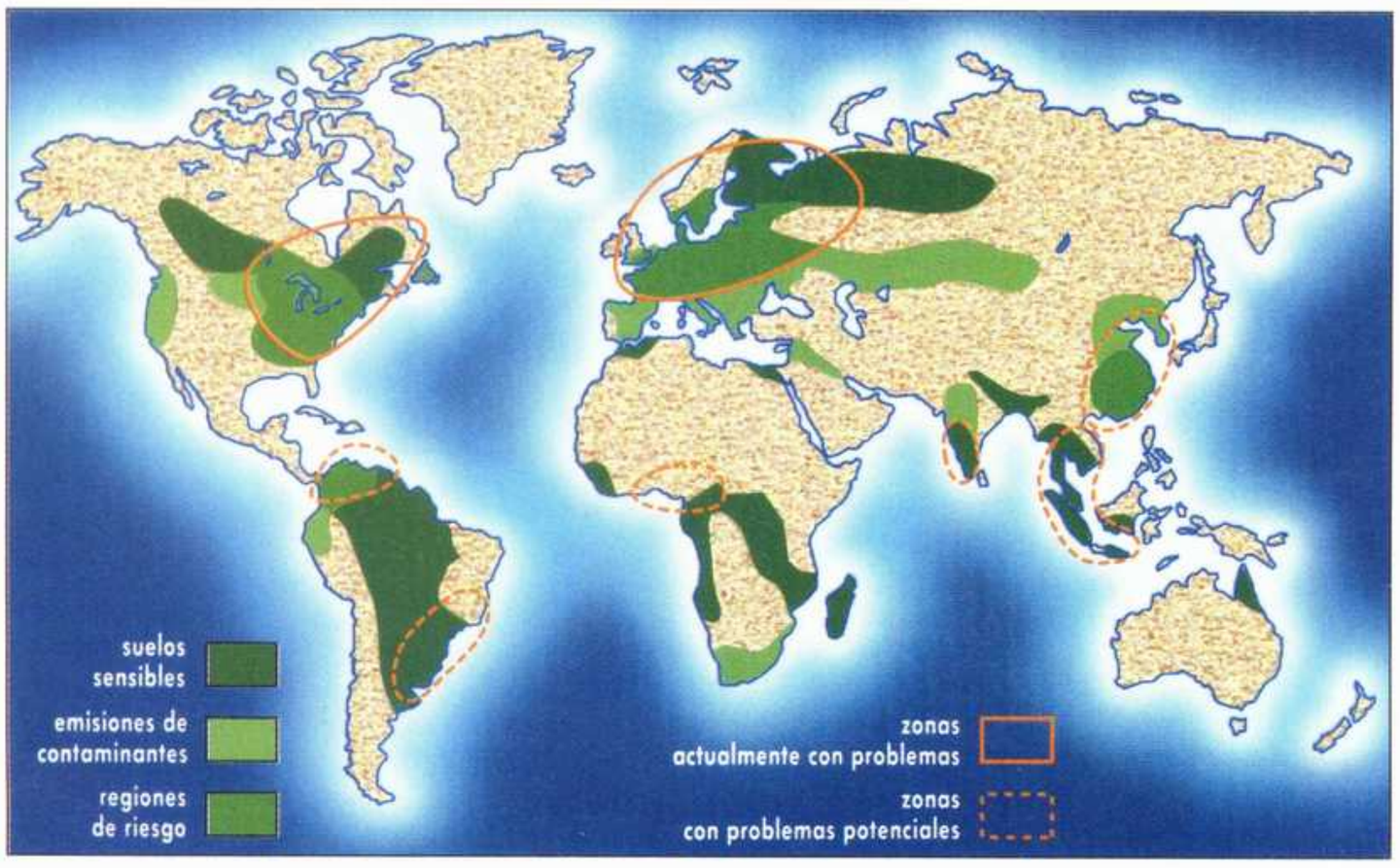


Figura 2. Los efectos de la erosión se observaron y estudiaron en los años 1920-1930 en las grandes llanuras del Middle West y las praderas de América del Norte. Pero el contexto histórico y económico era diferente del de Europa que está actualmente afectada. Lo mismo sucede en las llanos del norte de China, afectados por esta plaga desde hace una veintena de años. En verde oscuro se han representado los suelos sensibles a la erosión y a una acidificación debida a deposiciones y a «lluvias ácidas» y en verde claro las regiones afectadas por los compuestos ácidos. La superposición de estas dos zonas coloreadas (en un verde intermedio) representa las regiones con riesgos (en particular por lo que respecta a la erosión hídrica y eólica). Las partes rodeadas por un trazo continuo representan las zonas con problemas. Las partes roeadas por una línea a trazos corresponden a zonas sensibles en el futuro. (Dibujo según M. Robert, 1992.)

En términos más generales, es en el hemisferio norte donde se encuentran la mayor parte de las tierras agrícolas fértiles y el contexto climático templado apto para permitir todo tipo de cultivos. Las superficies cultivables representan el 22 % de la superficie terrestre de las que actualmente solamente se cultivan la mitad. Las superficies llamadas cultivables corresponden a cultivos a campo abierto, sin adición de abonos, cuya fertilidad natural permite un cierto rendimiento, por ejemplo un mínimo de una decena de quintales por hectárea y año en el caso del trigo. Esta productividad aumenta en función de la calidad natural de los suelos y de los climas, de los modos y de las técnicas utilizadas, así como de la adición de una cierta cantidad de abonos químicos. Las grandes zonas agrícolas están situadas en los llanos del nordeste americano y su prolongación en las praderas canadienses, los llanos europeos del noroeste y del este así como en las llanuras y las mesetas del norte de China. Por tanto, la parte principal del potencial agrícola mundial está situada en los países más industrializados: Estados Unidos, Canadá, Unión Europea, Europa del Este, CEI, Japón y China (véase la tabla).[3]

Estas regiones de gran agricultura se caracterizan por una producción considerable, e incluso por una superproducción acompañada de problemas comerciales. Por tanto se practica el abandono de tierras y esta tendencia no puede sino acentuarse en el futuro. En una quincena de años, este fenómeno podrá alcanzar a la mitad de las tierras cultivadas de Europa. Se comprende así que estas grandes zonas sean en gran

parte responsables del destino alimentario del mundo. Tanto más ya que la población mundial crece rápidamente y se puede duplicar en treinta años. Entonces, probablemente no podrá sino acentuarse el desequilibrio económico entre los países del Norte y los países del Sur, penalizados, entre otras cosas, por unas tierras agrícolas menos ricas y por el clima.

En Europa, en el Neolítico, el hombre empezó a roturar para cultivar. Estas prácticas se intensificaron con el paso de los siglos. Y adquirieron una nueva dimensión en el siglo XIX para aumentar el volumen de la producción agrícola, a causa especialmente de la presión demográfica creciente. La alteración de los suelos se aceleró hacia los años sesenta, con la mutación de los sistemas de cultivo y la concentración de las parcelas, aparecidas para afirmar nuestra independencia alimentaria. Anteriormente, generaciones de campesinos habían ajustado estrechamente su sistemas de cultivo a las variaciones locales del clima y del suelo. La sociedad rural gestionaba muy de cerca este medio y este espacio. Pero la simplificación progresiva de los medios de cultivo y la transformación de esta sociedad rural han borrado del paisaje los mosaicos agrícolas y la variedad de estos medios. Los grandes campos y los grandes bosques se alternan hoy en día en el paisaje, atenuando las diversidades bioclimáticas.(3) Durante algunos decenios, esto se ha traducido en la aparición de terrenos sin cultivar en las laderas y en el fondo de los valles, dejados libres por la fuerte disminución de la «población de pequeños agricultores». Luego, han evolucionado progresivamente debido a su arborización espontánea o voluntaria. Actualmente, los pueblos, rodeados de parcelas, están situados entre el gran bosque y los cultivos. Éste es el nuevo paisaje rural de los grandes llanos europeos.

Pero esta mutación ha tenido repercusiones importantes en el comportamiento de las aguas de lluvia. A causa de la ausencia de una cubierta vegetal permanente, en vez de estancarse y filtrarse, las aguas corren y arrastran con ellas la tierra y sus fertlizantes naturales, en particular el limo, la arcilla y las materias orgánicas que son también los ligantes de estos suelos frágiles. Por tanto, para mantener la fertilidad de

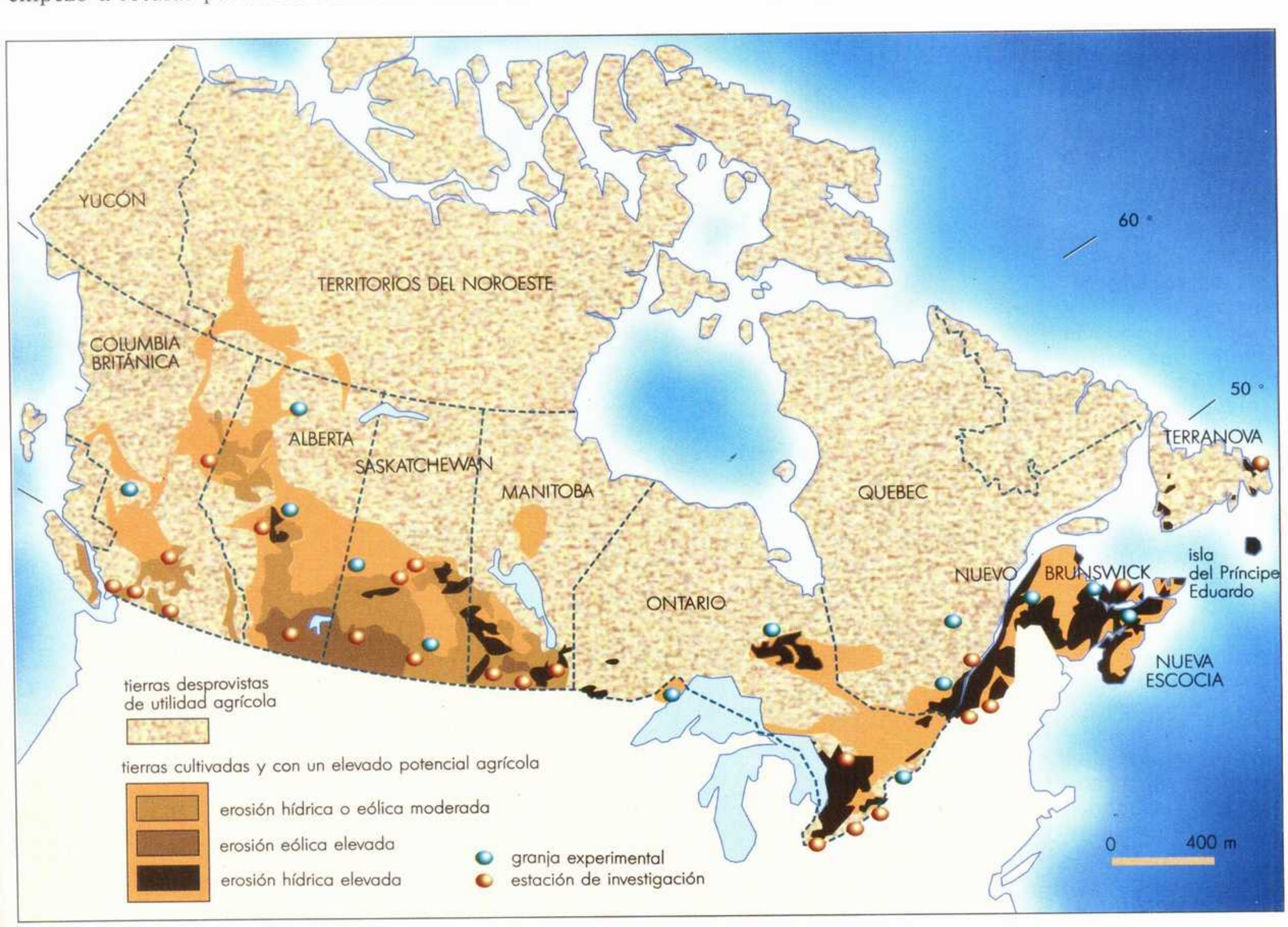


Figura 3. Pese a su importante superficie, Canadá tiene unos recursos agrícolas limitados. Más del 76 % de sus tierras están virtualmente desprovistas de utilidad para el cultivo, debido a las bajas temperaturas y a la aridez. La explotación del 24 % restante depende, entre otros factores, de las posibilidades del suelo. De hecho, menos del 9 % de las tierras de Canadá son capaces de mantener el crecimiento de los cultivos a campo abierto y realmente sólo se cultivan el 5 % (véase la tabla). Hay pocas tierras disponibles para roturar, con la excepción de la parte oeste de las praderas con estos suelos de tipo «chernozem» (suelos negros, ricos en materia orgánica) que, a priori, se pueden cultivar sin fertilizantes durante varios decenios. Este mapa muestra las diferentes regiones afectadas por la erosión. Desde hace muchos años, el gobierno federal y los gobiernos provinciales actúan en favor de la protección de los suelos. Así, existe en todo el país una red importante de granjas experimentales y de estaciones de investigación. El objetivo es estudiar entre otras la calidad de los suelos y de las aguas y la erosión. Cada año se invierten varios millones de dólares en investigación fundamental y aplicada sobre la degradación de las tierras agrícolas a nivel provincial. (Mapa según la Dirección general de investigación, Agricultura Canadá, 1984 y S. Wicherek, 1993.)

(1) G. Chisci, R.P.C. Morgan (eds.) *Soil erosion in the European Community. Impact of changing agriculture*, Balkema, 1986.
(2) R. Neboit, *L'homme et l'érosion. L'érosion des sols dans le monde*, Univ. Clermont-Ferrand II, Fasc. 34, N.S., 2ª ed., 1986.
(3) J. Beaujeu-Garnier *et al.*, *Images économiques du monde, 1992-1993*, Sédès, 1992.

los suelos, se ha tenido que recurrir a los abonos químicos que, arrastrados también por la lluvia, han contaminado los ríos y los mantos de agua subterránea. A continuación, estos abonos químicos y su sobrante contaminan a las cadenas alimentarias y por consiguiente acaban influyendo en la calidad de la salud humana. Las nuevas técnicas y métodos de cultivo (retroceso de las herbáceas, supresión de los setos) han agravado la situación. El paso incesante de máquinas cada vez más pesadas ha comprimido el suelo y ha llevado a la formación de una «suela de labor», una capa de tierra compactada, a una treintena de centímetros de profundidad, que todavía favorece más la circulación de las aguas subsuperficiales y hace difícil su filtración hacia los mantos freáticos. Las consecuencias han sido la disminución de la fertilidad natural y del rendimiento, los campos cuarteados, las inundaciones y las coladas de barro. Unas catástrofes poco conocidas hace algunos decenios y que explican, al menos en parte, las inundaciones que sufre Francia estos últimos años (fig. 1).[4,5]

Las tierras con un buen potencial agrícola serán probablemente una riqueza de las más codiciadas por el hombre en el futuro, sobre todo si los países del Sur no logran mejorar su destino alimentario. Por esta razón, la experiencia de Canadá y de Estados Unidos, países ya enfrentados desde hace muchos años a la degradación de sus tierras agrícolas, es muy preciosa para los europeos. En efecto, movidos por una necesidad precoz, los investigadores norteamericanos han sido de los primeros en el mundo en reconocer la necesidad de una lucha antierosiva, y los resultados de sus trabajos son ya bien visibles.

Tomemos el ejemplo de Canadá. Entre las regiones con grandes cultivos, este país se caracteriza por unas reservas reducidas de suelos agrícolas, debido sobre todo al clima (fig. 3). La degradación que afecta a amplias bandas de tierras cultivables en Canadá amenaza la viabilidad de la agricultura a medio plazo.[6] Actualmente, en Canadá, el coste de la erosión de los suelos (falta de ganancias y daños) se estima en más de 1 300 millones de dólares al año. Las pérdidas atribuidas a la degradación de los suelos se sitúan entre 15 y 26 dólares por hectárea de tierra arable, es decir, alrededor del 38 % de rendimiento agrícola neto.[7]

Las consecuencias nefastas resultantes de la utilización intensiva de las tierras agrícolas de Canadá se pueden clasificar en cuatro categorías: pérdida de los suelos por erosión eólica e hídrica, alteración química de los suelos por salinización o acidificación y por la influencia de metales pesados, alteración física de los suelos a consecuencia de la compactación y finalmente oxidación de las materias orgánicas. En 1922, el gobierno federal de Canadá y los gobiernos provinciales promovieron la instalación de una primera estación de investigación en Swift Current (Saskatchewan) con el mandato principal de luchar contra la erosión eólica y de proteger las zonas húmedas. En nuestros días, estas instancias dedican cien millones de dólares al año a la conservación y explotación de los suelos y del agua. Esta suma se distribuye en forma de subvenciones para realizar, entre otros, trabajos de drenaje, garantizar la recuperación de los pozos, y la instalación de rompevientos en forma de setos. Estas operaciones son coordinadas por los representantes regionales de los ministerios de Agricultura

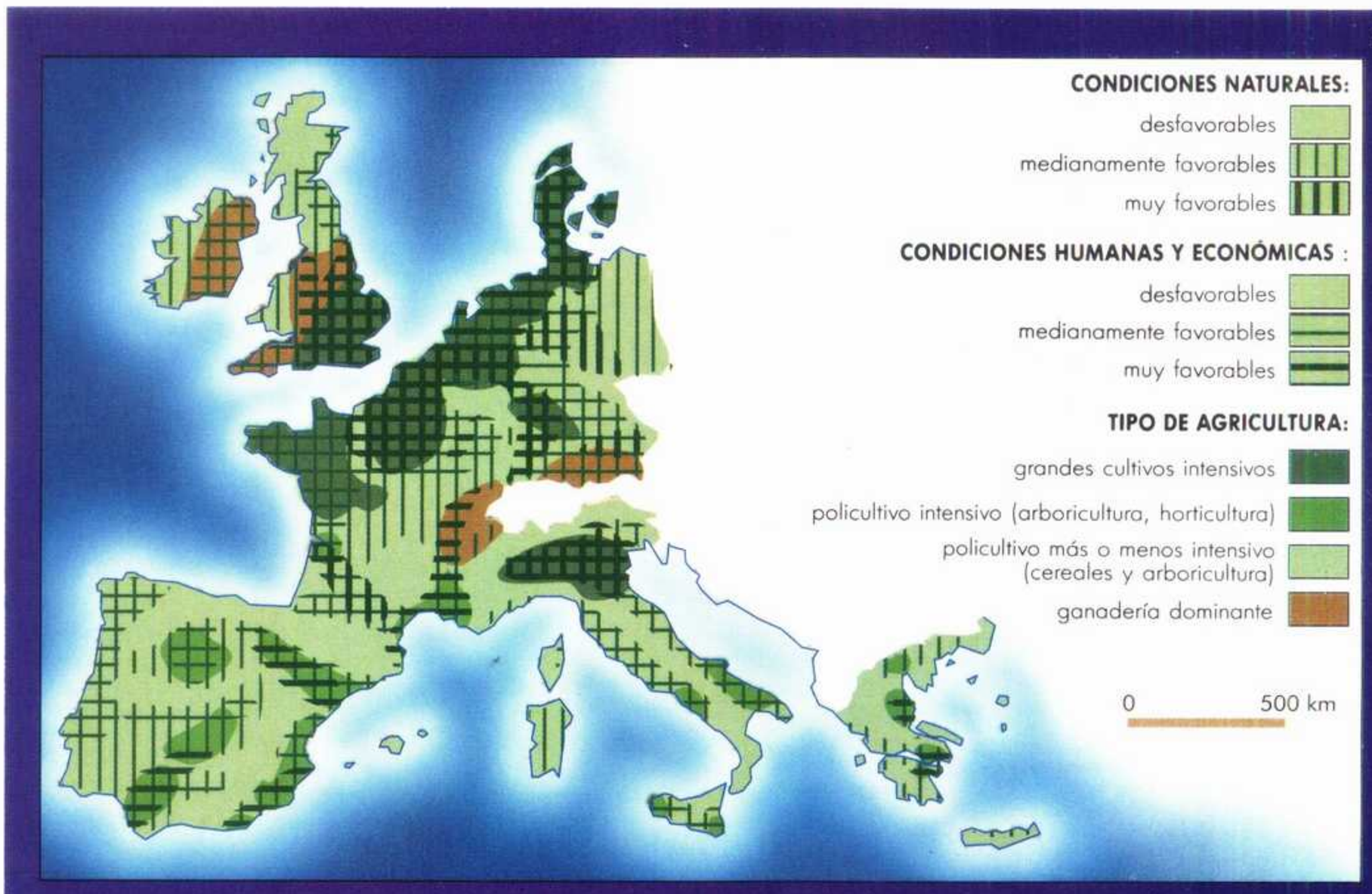
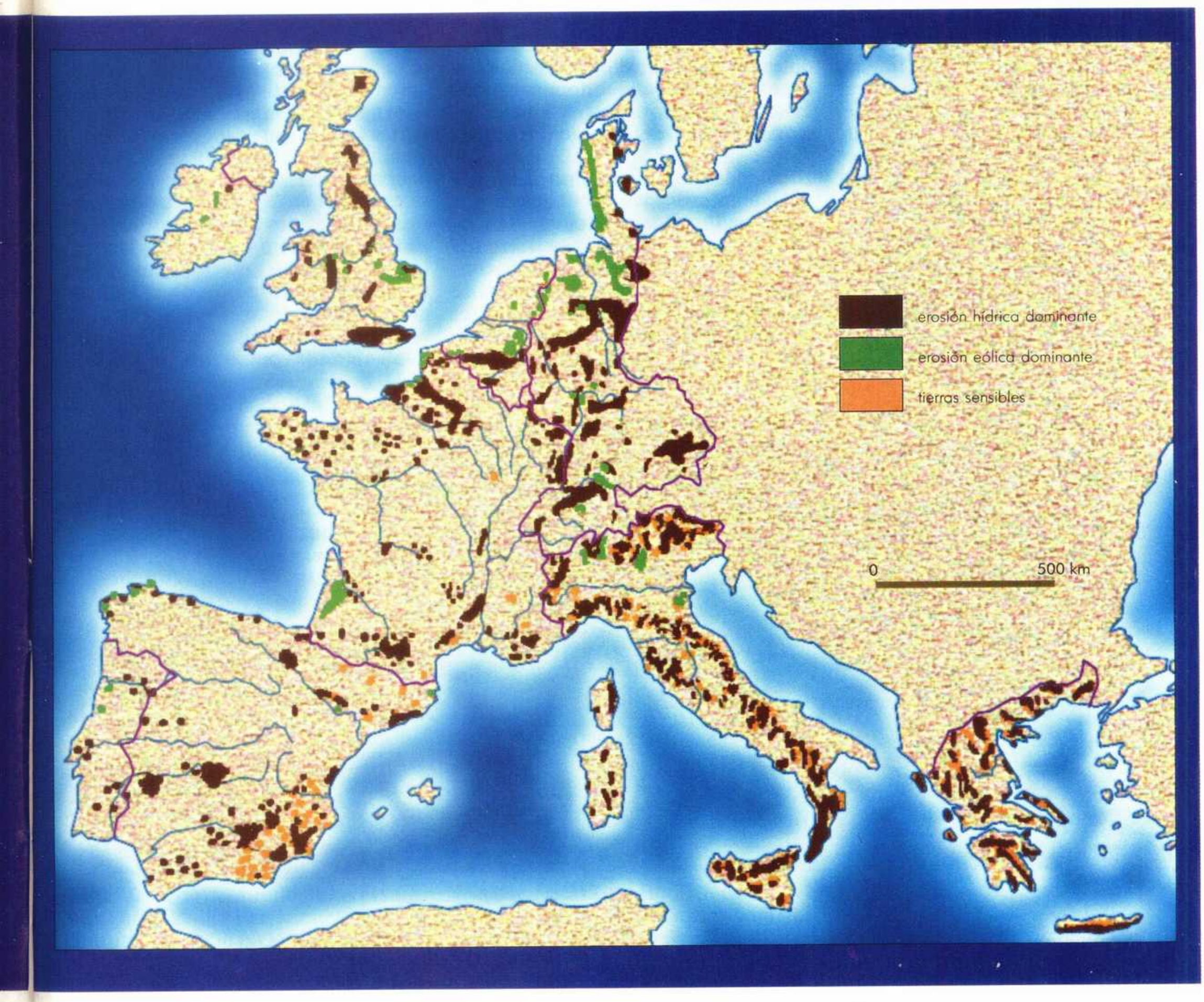


Figura 4. Durante mucho tiempo se consideró que los llanos de grandes cultivos de Europa Occidental eran medios estables. Pero desde hace una veintena de años, sus suelos se degradan intensamente debido a la mutación de los sistemas de cultivo y a la concentración de las parcelas. El mapa A representa la tipología de las regiones agrícolas de Europa en función de las condiciones naturales humanas y económicas. Las características morfopedológicas, que son ampliamente consecuencia del pasado tectónico, aparecen como permanentes, y su expresión en el desencadenamiento de los procesos de erosión de los suelos depende de factores climáticos y antrópicos. En Europa Occidental, los responsables públicos todavía no han tomado suficientemente en consideración estos problemas y, sin embargo, al menos veinticinco millones de hectáreas de terrenos agrícolas están afectadas o fuertemente amenazadas por la erosión hídrica. En las regiones mediterráneas, la erosión de los suelos es más espectacular, debido al relieve y al clima. Como muestra el mapa B, la erosión hídrica afecta en particular a la parte septentrional de la cuenca de París, al sudeste de Inglaterra, a los llanos de loess y limo belgas y germanopolacos prolongados hasta Ucrania, y también a la llanura arenosa báltica (Holanda, el norte de Alemania y una parte de Dinamarca). La erosión eólica se limita a las zonas del litoral. Se estima que el coste anual de la erosión en constante progresión en el oeste de Europa se eleva a diez mil millones de francos franceses, sin contar el propio valor del suelo que es imposible de estimar. (Mapa A, según S. Wicherek y A. Angeliaume, 1993; mapa B, según Soil erosion map of Western Europe, *J. de Ploey, 1989.)*

de las Provincias, que también realizan un papel de consejeros agrónomos y de formadores. Actualmente, existe una verdadera red de estaciones de investigación y de granjas experimentales, una treintena de las cuales han sido implantadas por Agricultura Canadá (departamento del ministerio federal de Agricultura) (fig. 3). Estas estaciones y granjas experimentales están especializadas en diferentes campos; por ejemplo, problemas relativos a los suelos y las aguas en Harrow, Frederictown, Lethbridge, Sainte-Foy, Summerland, Swift Current Charlottetown.(6) El presupuesto anual de investigación de Agricultura Canadá se eleva así a unos sesenta y cinco millones de dólares. En la actualidad, manteniendo las proporciones, Europa está lejos de invertir tales sumas para preservar la riqueza de su suelo.(7)

Las provincias y las universidades también realizan investigaciones sobre la gestión de la calidad de los suelos y de las aguas, por ejemplo, en Columbia Británica y en Quebec, la erosión hídrica, la evolución de la estructura, de la materia orgánica en los suelos y de los vertidos de abonos constituyen importantes campos de investigación. En las praderas, se pone el acento sobre el control de la salinidad, de la erosión y de la gestión de la humedad del suelo. Cada año, se invierten varios millones de dólares en investigación fundamental y aplicada sobre la degradación de las tierras agrícolas a nivel provincial. Hace tres años se inició una cooperación entre la universidad Laval, los ministerios de Agricultura de Francia y de Quebec y nuestro centro de biogeografía-ecología de la Escuela normal superior de Fontanay-Saint-Cloud, en Francia. Concierne a la degradación de los suelos en la cuenca de París y en el valle del San Lorenzo.(6) Desde el principio de los años noventa, el gobierno central, conjuntamente con las provincias, ha iniciado un nuevo programa, el Plan verde,(8) que apunta a promover la calidad del medio ambiente y que incluye algunos trabajos relacionados con la conservación de los suelos y de las aguas. Uno de los objetivos fundamentales es formar a los usuarios en una gestión racional a nivel de la provincia y la región. El conjunto de las acciones emprendidas por los canadienses ha hecho posible un frenado de la degradación que sin embargo sigue siendo amenazadora. Es evidente que sin estas acciones concretas los daños habrían sido más importantes.

Lamentablemente, en Europa Occidental, los responsables públicos todavía no han tenido suficientemente en cuenta estos problemas. Es deplorable que,



(4) S. Wicherek *Soil Technology, Catena, 3*(2), 199, 1990.
(5) S. Wicherek (ed.), *Farm land erosion in temperate plains environments*, Elsevier, 1993.
(6) S. Wicherek y M. Laverdiere, *Cahiers Agricultures, 2*(4), 245, 1993.
(7) J. Dumanski *et al., Journal of soil and water conservation, USA, 41*(4), 204, 1986.
(8) *Le plan vert du Canada pour un environnement sain*, Ministerio de Aprovisionamiento y Servicios de Canadá, 1990.
(9) G. Monnier *et al., Cah. ORSTOM, Série Pédologique, XXII, 2*, 123, 1986, 122, 1993.

respecto a América del Norte, sean pocos los laboratorios de investigación que trabajan sobre esta problemática a largo plazo y en condiciones reales sobre el terreno. Sin embargo, al menos veinticinco millones de hectáreas de terrenos agrícolas están afectadas o fuertemente amenazadas por la erosión hídrica. Según la gran mayoría de los expertos europeos como el británico J. Boardman, el italiano G. Chisci, el belga J. De Ploey, el británico R.C.P. Morgan, el alemán G. Richter y el francés E. Roose, la erosión se ha intensificado globalmente en los últimos decenios.(9) En las regiones mediterráneas, la erosión de los suelos es más espectacular, debido al relieve y al clima. En otras partes, la erosión hídrica afecta a las tierras de grandes cultivos, en particular a la parte septentrional de la cuenca de París, al sudeste de Inglaterra, a las llanuras de loess, limo y arenosas belgas, alemanas y polacas hasta Ucrania, y también al llano báltico (Holanda, norte de Alemania y una parte de Dinamarca). Por su parte, la erosión eólica se limita a las zonas del litoral (fig. 4).

Además, los países de Europa del Este tienen que afrontar los problemas de las deposiciones ácidas y de metales pesados en los suelos. Se puede considerar que la cuarta parte de sus tierras cultivadas está afectada por estas plagas.(10) La utilización abusiva e irracional de los abonos orgánicos y químicos provoca una fuerte contaminación de los mantos freáticos y de los ríos. Una mala gestión de las aguas (irrigación y drenaje) acelera, por ejemplo, la desecación de las regiones del nordeste de Hungría. El mismo fenómeno se observa al norte de Poznan, en la gran llanura germanopolaca y en algunas partes de Ucrania.

El coste anual de la erosión en Europa Occidental ha sido estimado por J. De Ploey en los años noventa en diez mil millones de francos franceses, sin contar el valor propio del suelo, que es imposible de cifrar. Así, la regeneración natural de los suelos fértiles europeos actualmente erosionados exigiría algunos miles de años; a condición de que se realizase bajo una vegetación espontánea, como robledales-carpedales y hayedos-robledales que dominaban los espacios europeos antes de la aceleración de las deforestaciones medievales.(11)

¿Cuál es la situación en Francia? Nuestro laboratorio fue uno de los pioneros hacia los años setenta en esta materia. A partir de 1985 otros investigadores tomaron progresivamente conciencia del hecho de que la erosión de los suelos podía afectar a todas las regiones de Francia. Entre otros laboratorios, se pueden citar los del centro ecogeográfico de la universidad de Estrasburgo, del laboratorio de geografía física del CNRS de Meudon, del Laboratorio de Geomorfología del CNRS de Caen, del INRA París-Grignon, del INRA de Orleans, de la estación agronómica de Laon y de la red Erosión ORSTOM de Montpellier. Aunque el fenómeno de erosión de los suelos está menos mediatizado que las «lluvias ácidas» y los incendios forestales, sus implicaciones tienen graves consecuencias, en especial en el sector agroalimentario. Al principio de los años cincuenta, la superficie total de las tierras fuertemente dañadas por la erosión hídrica, sobre todo en el sudeste del país y en las regiones de montaña, se estimaba en 2,7 millones de hectáreas.(12) Recientes investigaciones realizadas por nuestro centro y los laboratorios citados anteriormente han revelado la importancia de la erosión en la cuenca de París: actualmente alrededor de cinco millones de hectáreas están afectadas por la erosión hídrica.

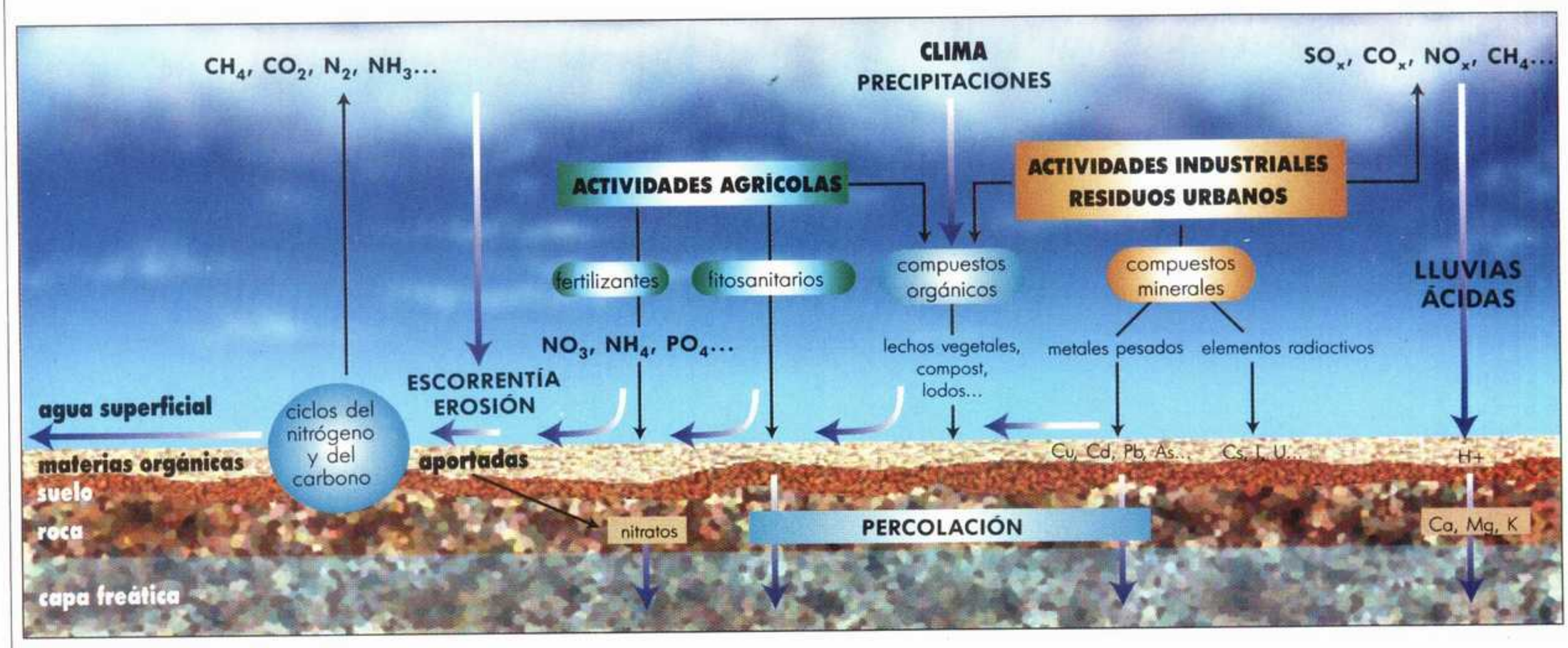


Figura 5. Los principales contaminantes que transitan por los suelos son el resultado de las actividades humanas agrícolas e industriales: abonos químicos, plaguicidas, contaminantes atmosféricos (lluvias ácidas), metales pesados, residuos urbanos, etc. Todos estos contaminantes tienen un impacto sobre la calidad del medio ambiente (suelos, capas freáticas y ríos). El suelo se puede comparar a un filtro, a un sistema depurador: al atravesarlo, la calidad de las aguas se modifica y la fertilidad natural de las tierras agrícolas disminuye a causa de la escorrentía. Para mantener la fertilidad de los suelos se tiene que recurrir a abonos químicos que a su vez serán arrastrados por la lluvia: cuanto más importante es esta intervención, más riesgo hay de contaminación de las cadenas alimentarias y por lo tanto de la salud humana. (Según A. Angeliaume y S. Wicherek.)

No es raro observar una erosión que puede alcanzar de treinta a cincuenta toneladas por hectárea y año.(13,14)

Intentemos comprender mejor lo que sucede sobre el terreno. La fertilidad de los suelos depende de las relaciones que existen entre sus componentes: elementos minerales (nitrógeno, calcio, potasio, etc.), agua, gas (nitrógeno, dióxido de carbono, gases reductores, oxígeno), sustancias organohúmicas (materias orgánicas) y fauna. Los suelos menos expuestos a la erosión se caracterizan por una gran estabilidad estructural. Éste es el resultado de una agregación de las partículas sólidas por medio de compuestos húmicos y de arcillas. Esta estructura granular

(10) S. Wicherek, *Annales Academiae medicae Silesiensis*, supl. 10, 21, 1990.
(11) J. Boardman *et al.*, *Soil erosion on agricultural land British geomorphological research*, Wiley, 1990.
(12) S. Henin y T. Gobillot, *Bull. Technique d'Information, 50*, 431, 1950.
(13) Ministerios de Agricultura y del Medio Ambiente y CEREG, *L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture*, 1987.
(14) S. Wicherek, *Zeitschrift für Geomorphologie, 32*(3), 339, 1988.
(15) P. Arnould *et al.*, «Influence des modifications des structures agraires sur l'érosion des sols», *BAGF*, *69*(2), 1992.
(16) H. Rodhe, *Ambio, 18*, 155, 1989.
(17) M. Robert, *Cahiers Agricultures, 1*(1), 20, 1992.

facilita la filtración de las aguas de lluvia y frena el arrastre de las partículas del suelo por el agua que corre. Así, en Europa, los suelos más frágiles y los más sometidos a la erosión contienen poco humus (alrededor del 2 %) y arcillas y tienen un porcentaje importante de arenas finas.

Las lluvias son la causa esencial de la erosión de los suelos: las gotas de agua y su energía cinética arrancan partículas del suelo, que son arrastradas a más o menos gran distancia por la escorrentía superficial. La erosión aumenta directamente con la pendiente del terreno que aumenta la velocidad del agua,[15] y con el compactado de las tierras que favorece la escorrentía.

Una cubierta vegetal cerrada (bosque, césped), incluida la de las plantas de cultivo, protege a las tierras de la erosión.[14] Las partes aéreas de los vegetales y el lecho vegetal interceptan las gotas de lluvia, dispersan su energía cinética y frenan la escorrentía. Pero cuando el suelo está desprovisto de la pantalla vegetal, debido a la roturación o entre dos cultivos después de la cosecha, queda fragilizado sobre todo cuando sobrevienen lluvias de una intensidad suficiente (más de quince milímetros de agua por hora). Esto es lo que sucede en los suelos arables en los que se practican cultivos de cereales, de maíz, de remolocha azucarera y de patatas.

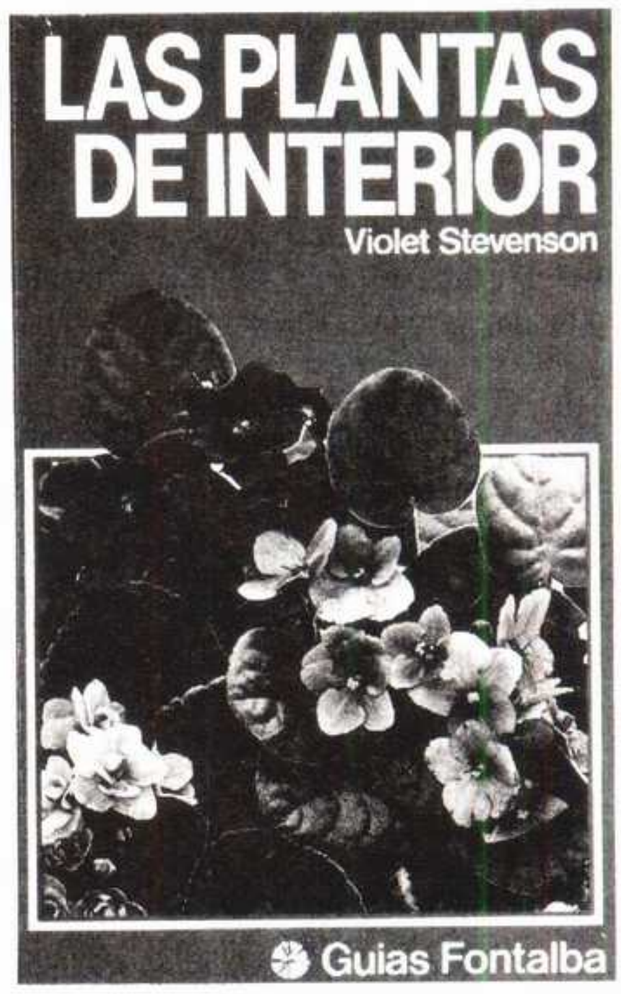
La fertilidad natural de los suelos sometidos a esta degradación disminuye y en consecuencia se altera la calidad de las aguas a causa de la aportación de abonos químicos: nitrógeno, potasio, fósforo (N, K, P).[16,17] En Europa Occidental, se esparcen en promedio quinientos kilogramos de estos abonos por hectárea y año, y tres kilogramos de plaguicidas. Solamente las tres cuartas partes son absorbidas por la vegetación. Encontrar la relación directa entre las fases de desarrollo de las plantas y sus necesidades nutricionales permitiría determinar el mejor periodo de inyección de los abonos (para evitar las sobrecargas en el medio). Las investigaciones en este sentido sólo están en sus comienzos. La fauna (gusanos de tierra, etc.) y la microfauna (animales cuyo tamaño es inferior a 0,2 mm, por ejemplo los protozoos y algunos nemátodos), indispensables para el buen equilibrio de los suelos y para el mantenimiento de la materia orgánica están actualmente en constante disminución debido a los abonos químicos (véase «Los gusanos de tierra y el medio ambiente», *Mundo Científico*, nº 146, mayo, 1994). Hace veinte años el contenido de materia orgánica era aproximadamente del 3 %. Actualmente es inferior al 2 %, lo que correspondería a un umbral crítico basado en la experimentación.

La velocidad de percolación de los contaminantes en los suelos puede alcanzar varias decenas de centímetros por año.[18] Existe un desfase de varios años, incluso de varios decenios, entre el momento en que se constata la contaminación de los mantos y el inicio de las prácticas agrícolas. Ésta es la razón por la que no habría *a priori* más contaminación actualmente que hacia los años setenta, pero hay un efecto acumulativo y un efecto de latencia (fig. 5). Un cambio brusco en el modo de utilización de los suelos exige cierto tiempo, del orden de un decenio, para que las calidades de las aguas y de los suelos resulten mejoradas. En cambio, la cubierta pedológica engrosa lenta pero constantemente durante un largo periodo (a escala secular y milenaria), a partir de la roca madre. Actualmente, se constata que la erosión del suelo es más rápida que su formación, lo que impone una buena gestión del capital suelo.

Para ir más lejos en la comprensión de los mecanismos de la erosión, es indispensable realizar la investigación fundamental sobre el terreno a escala de la estación de medida, un medio delimitado por unas condiciones ecológicas locales. La estación permite realizar medidas precisas de forma continua, en unas condiciones máximas de homogeneidad (factores climáticos, caracteres hídricos del suelo y su evolución, estado de la superficie, escorrentía y pérdidas de sedimentos). Este nivel es el único para el que se puede pensar realmente en un seguimiento continuo (por ejemplo, la evolución del estado de la superficie y la formación de la escorrentías durante las lluvias). Sin embargo, la estación no da cuenta ni de la diversidad de la vertiente o de la cuenca receptora, ni de la diversidad de las situaciones locales y regionales. Para ello, es necesario un número suficiente de estaciones bien distribuidas, pero sobre todo es indispensable el trabajo a escala de la cuenca receptora y del complejo que constituye dicha cuenca.

Es a esta escala que se puede, por medio de una red de estaciones de medidas, estudiar la influencia de los grandes cultivos en la calidad de las aguas. Esta unidad espacial es fundamental para los estudios de degradación de los suelos y de las aguas, y en un amplio sentido para los estudios medioambientales. El registro y las medidas instantáneas cuantitativas por medio de ultrasonidos y cualitativas por medio de análisis automatizados de los flujos líquidos y sólidos a la salida de las

LAS PLANTAS DE INTERIOR



En este libro podemos encontrar todo lo necesario para empezar a cultivar las plantas de interior. En él se nos ofrecen los nombres de dichas plantas, cuidados generales, plagas y enfermedades, suelo y cultivo en macetas, etc. También incluye una amplia lista de plantas con su respectiva descripción, hábitos, necesidades, peligros, usos y multiplicación.

Formato: 13,5 × 20 cm

Páginas: 128 en cartoné

Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P. 923 Ptas. (Incluido IVA)

Pídalo a su librero
o contrarrembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

Valencia, 359 – 6.º 1.ª
08009 Barcelona (España)

cuencas receptoras son primordiales, completados con los parámetros climáticos (intensidad y cantidad de lluvias) y los datos físicos de los suelos (por ejemplo la humedad). Permiten comprender las relaciones entre la cubierta vegetal y los modos y las técnicas de utilización de los suelos (incluyendo las cantidades de fertilizantes químicos introducidas). Todos estos parámetros constituyen la base de la modelización de los procesos de erosión.

SOLUCIONES PARA MANTENER LA CALIDAD DE LOS SUELOS Y LAS AGUAS

Desde hace cinco años, nuestro centro realiza este tipo de registros de forma permanente, en condiciones reales, en diversos lugares del Soissonnais y del Laonnois.(19) Así, varios municipos rurales, como Erlon en Laonnois y Vierzy en Soissonnais, son actualmente la sede de experimentos que apuntan a proponer un mejor acondicionamiento de los espacios rurales. Este enfoque de investigación fundamental y aplicada es financiado por el organismo al que pertenecemos y por la Mancomunidad de Municipios del Pays de la Serre (Aisne). Confirmamos y completamos este método con otros medios de estudio, a saber, la utilización, desde la primera explosión nuclear de 1945, del ^{137}Cs como marcador del desplazamiento de los suelos. La erosión se estima comparando la actividad del ^{137}Cs del suelo de un lugar cultivado con el de un lugar considerado a cubierto de la erosión. Se supone entonces que la pérdida de suelo de la capa de cultivo es proporcional a la reducción de la actividad del ^{137}Cs del suelo del lugar estudiado.(20)

Prever los riesgos de erosión de los suelos cultivados y los riesgos de inundación corriente abajo de las cuencas receptoras exige apreciar y jerarquizar los diferentes factores que intervienen en el desencadenamiento de los procesos: prácticas y evolución de los sistemas de cultivo, calendario de cultivo, tipos de cultivos (retroceso de los prados, degradación del estatuto orgánico de los suelos y de las propiedades con él relacionadas, etc.) así como la evolución de la mecanización. También se tienen que tener en cuenta factores permanentes: geología, morfología, suelos con potencialidades de erosión. Por tanto es importante elaborar una tipología de las cuencas receptoras ampliamente basada en un «diagnóstico morfopedológico». Ésta tiene que permitir establecer una cartografía de las potencialidades de los riesgos de erosión. Es un desafío que espera a los investigadores en un futuro próximo. La realización de esta cartografía ayudará a los responsables a gestionar el espacio rural.

Sin embargo, los conocimientos actuales sobre la degradación de las tierras cultivadas, surgidos de la larga experiencia norteamericana así como de la nuestra, ya permiten proponer algunas soluciones para salvaguardar la calidad de los suelos y de las aguas. El trabajo del suelo desempeña un papel fundamental; de una parte mejora su estructura y la filtración, el enraizamiento y los rendimientos, pero de otra parte acelera la mineralización, el desequilibrio y la degradación de los suelos. La mejora de las estructuras se puede obtener a partir de aportaciones minerales (caliza, cal, etc.) y orgánicas (estiércol, compost, residuos vegetales, abonos verdes), que se hunden en el suelo (*mulching*) y que protegen directamente a los suelos y aumentan su fertlidad y su resistencia a la erosión. Estos tratamientos están en el inicio de su aplicación en Europa, pero a una escala reducida. Es el resultado de una falta de información a nivel local, agravada por la ausencia de una reglamentación precisa. Según nuestras encuestas, la cifra más frecuentemente citada es de alrededor de un 5 % de pérdida sobre los beneficios netos agrícolas, un umbral a partir del cual los agricultores se resienten fuertemente de los daños; sin embargo, estos últimos están dispuestos a modificar su comportamiento con objeto de controlar estos riesgos en constante progresión. Reducir el paso de la maquinaria agrícola revierte en un cambio de estructura de los suelos: es indispensable introducir rastrillos en los arados para romper la suela de cultivo, y aligerar al mismo tiempo el peso de las máquinas para reducir la compactación. El trabajo mínimo del suelo (evitar las labranzas anuales sistemáticas) y los trabajos indirectos se están estudiando actualmente a nivel experimental en varios países europeos (Bélgica, Alemania).

En diversos estudios realizados en Estados Unidos y en Europa Occidental (entre ellos nuestros propios resultados) se recomienda trabajar del suelo perpendicularmente a su pendiente, así como el cultivo de los suelos paralelamente a las curvas de nivel en forma de bandas que no superen algunos centenares de metros, lo que impide la aparición de la escorrentía. Además, los cultivos tienen que respetar los diferentes estadios de desarrollo de las plantas (es el caso de los cultivos de gramíneas escardadas y de leguminosas). Las fases de su desarrollo están separadas en el tiempo y en el espacio. Por ejemplo, en las partes altas los suelos desnudos o poco cubiertos por la vegetación permiten la aparición de la escorrentía, mientras que, durante el mismo periodo en las partes bajas, los suelos cubiertos de vegetación impiden la circulación de estas aguas. El desacoplamiento del espacio agrícola desde esta óptica frena considerablemente el desplazamiento de las corrientes. Por tanto la presencia constante de cubiertas vegetales desempeña un papel primordial en la lucha contra la erosión; por esta razón, se introducen en los cultivos lechos vegetales e incluso plantas de cobertura (por ejemplo el trébol).(14) Parece evidente que la eliminación de las herbáceas, de los setos y de los taludes agrava la inundación en varias regiones europeas; por lo tanto su conservación tiene una gran importancia y también participa en la salvaguarda de la biodiversidad. Las pendientes favorecen la erosión, ya que la inclinación es más importante que la longitud, salvo si se organizan regueros. La posición topográfica desempeña un papel importante: la parte inferior de las pendientes resulta a menudo más rápidamente saturada y erosionada que la parte alta. En consecuencia se tienen que revisar los esquemas clásicos de acondicionamiento. El efecto importante del estado de la superficie del suelo sobre la escorrentía —en particular la presencia de lechos vegetales, las actividades biológicas y el encostramiento— tienen que hacernos repensar las nociones de trabajo profundo, superficial y en terrenos para facilitar la filtración.

CONTROLAR LA EROSIÓN PARA LOGRAR UNA AGRICULTURA DURADERA

Los científicos y los responsables públicos empiezan a entrever los aspectos socioeconómicos de la erosión; los problemas financieros apenas se empiezan a abordar en Europa. Esto se explica probablemente por el hecho de que las investigaciones científicas están poco

extendidas en este campo, por una información demasiado restringida y por una reglamentación insuficiente e inadecuada. Por ejemplo, en la política global del mercado mundial, el coste de la erosión (pérdida de productividad a corto y a largo plazo de las tierras erosionadas) y el coste de lucha contra la erosión se han integrado poco en las decisiones políticas y en las negociaciones del GATT (Acuerdo general sobre comercio y aranceles). Solamente los estudios de la escorrentía y de la erosión sobre el terreno y la discusión de tipo económico con los campesinos puede permitir definir, en lugares concretos, el acondicionamiento y la utilización racional de los suelos con un buen potencial agrícola. Esta tarea es tanto más fácil cuanto el 20 % de las tierras quedarán próximamente en barbecho. Por lo tanto queda un margen de maniobra suficiente para reaccionar.

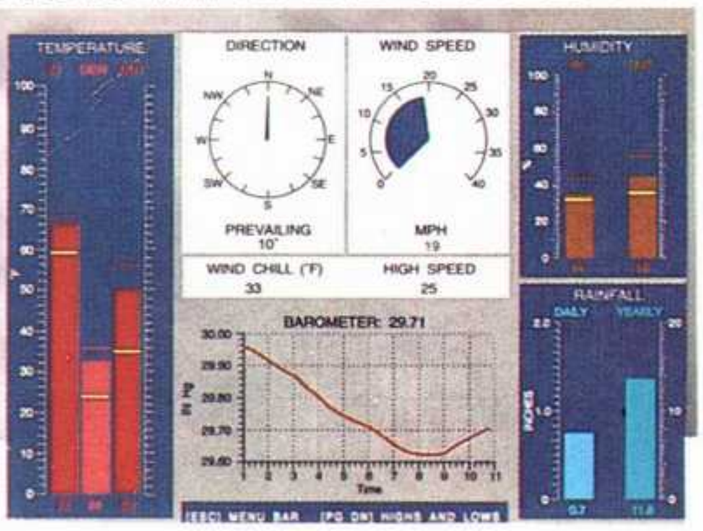
La degradación de los suelos es indiscutiblemente un problema social. Se trata de gestionar y sobre todo de conservar la calidad de las aguas al mismo tiempo que la calidad y la fertilidad de los suelos. El control de la erosión es una de las claves de un desarrollo agrícola duradero. Concierne preferentemente a varios actores. A los investigadores, que tienen que comprender mejor estos procesos con objeto de proponer soluciones concretas. A los políticos, que tienen que tomar decisiones, por ejemplo la de hacer pagar a quienes contaminan. A los agricultores, que tienen que utilizar mejor sus tierras, y que son cada vez más conscientes de la gravedad de los problemas y de los costes provocados por la degradación, y por tanto ya están dispuestos a colaborar con los responsables públicos y con los científicos. Es de desear que la enseñanza técnica superior desarrolle una formación más especializada en este campo, tanto más cuando algunos países de la Unión Europea, como el Benelux, tienen una notable toma de conciencia de esta situación tanto a nivel de la investigación como de la enseñanza. La creación, en 1988, de la Sociedad europea de conservación de los suelos (ESSC) habría podido dar lugar a iniciativas más pertinentes. Por ejemplo, la organización y el apoyo por Europa de un servicio que se habría podido inspirar en el creado en Estados Unidos en 1935 (Soil Conservation Service) encargado de llevar a la práctica medidas de protección del suelo y de las aguas, con un potencial humano de trece mil personas a escala federal y de los estados, pero mayoritariamente a nivel local.

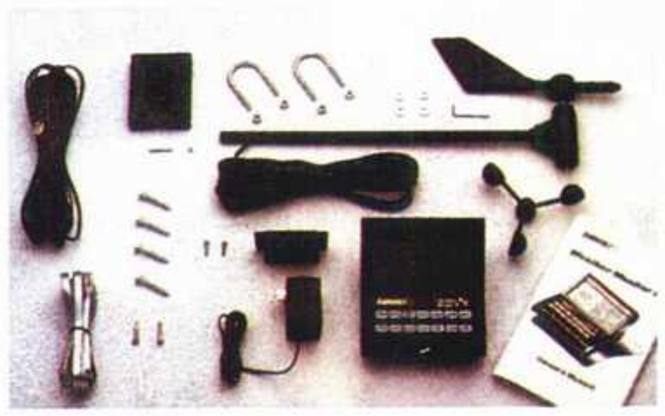
Además, un servicio de este tipo generaría empleos a nivel europeo. Como ya se subrayó en 1987, durante el Consejo de Europa en Lisboa, la mayoría de los países agrícolas en medios templados de llanos tienen que recuperar absolutamente el control de su suelo si no quieren perder su alma. Sin embargo, hay que lamentar que esta noble idea se haya concretado poco hasta ahora...

Confiemos en que el hombre de los tiempos modernos se enfrente con los «verdaderos» problemas de la Tierra; que aprenda a dominar la utilización de su tierra nutritiva, y desarrolle el saber y la tecnología indispensables para la conservación de los suelos para las generaciones futuras.[21] ■

(18) Ph. Duchaufour, *Abrégé de pédologie*, 2ª ed., Masson, 1988.
(19) S. Wicherek, *Soil Technology, Catena*, 4(2), 99, 1991.
(20) S. Wicherek *et al., Mémoire de la Société géologique de France, Atome et Géologie, 162*, 122, 1993.
(21) Para una bibliografía más completa véase la página 993.

¡LO DEFINITIVO EN SISTEMAS DE OBSERVACIÓN METEOROLÓGICA!





¡Por fin juntas!

¡Monte su propio observatorio meteorológico! Combine su Monitor II con el Weatherlink Software: conseguirá la estación más completa y económica del mercado. Use la potencia de su PC para registrar, sumarizar y hacer gráficos del tiempo de hoy, mañana y de todo el año.

LA WEATHER MONITOR II MUESTRA:

- Temperatura Interior y Exterior
- Velocidad y Dirección del Viento
- Humedad Interior
- Fecha y Hora
- Barómetro
- Alarmas
- Máximas y Mínimas
- Humedad Exterior y P. de Rocío Opcional
- Temperatura de Brisa
- Conversión Unidades
- Pluviómetro Opcional

EL WEATHERLINK PERMITE:

- Crear gráficos diarios, mensuales y anuales.
- Comparar dos variables meteorológicas en el mismo gráfico.
- Comparar dos días, semanas, meses o años en el mismo gráfico.
- Almacenar información durante cuatro meses antes de transmitirla a su ordenador.
- Transmisión de datos a distancia via módem.

Tel. (93) 473 45 32
Fax (93) 473 57 08

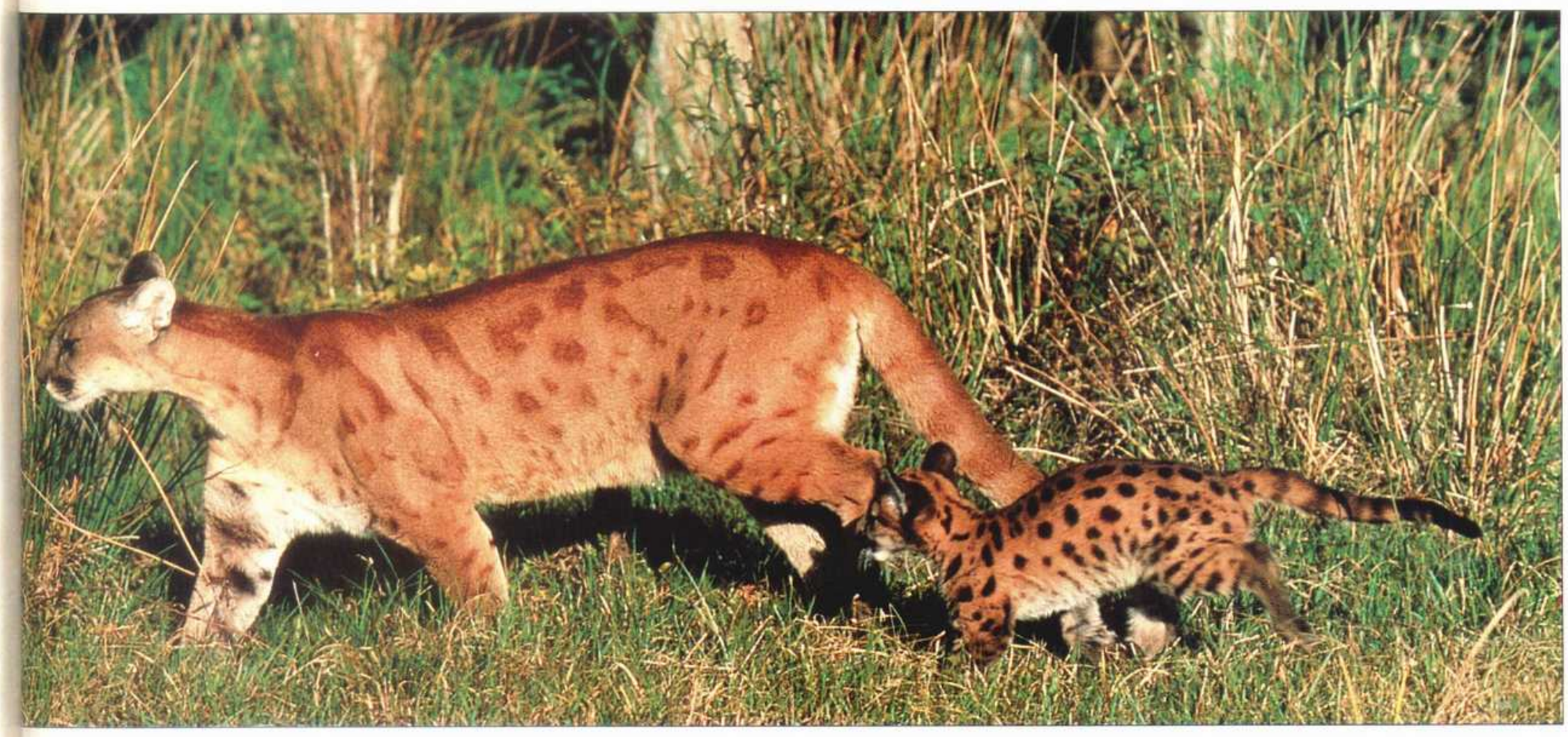
Darrera S.A. - REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA ESPAÑA DE DAVIS I. USA -
C/ de la Iglesia, 5-7-9 08950 Esplugues de Llobregat (BARCELONA)

EL SIDA DEL GATO Y SU VIRUS

Entre los virus parecidos al que causa el sida (VIH), hay uno, el FIV, que afecta al gato doméstico y provoca un síndrome comparable al que se observa en el hombre. Una estimación indica que, en todo el mundo, aproximadamente cuarenta millones de gatos estarían infectados por este virus. Como no es eficaz ningún tratamiento ni vacuna, es indispensable un conocimiento mejor del FIV para luchar contra esta enfermedad, tanto más cuanto que ciertos felinos salvajes, ya en vías de extinción, también están infectados. Por otra parte, este virus constituye un modelo muy interesante de estudio del VIH y de los procesos de infección y de destrucción de las células inmunitarias.

FRANCK COURCHAMP, DOMINIQUE PONTIER, JEAN-MARIE LEGAY Y MARC ARTOIS

A



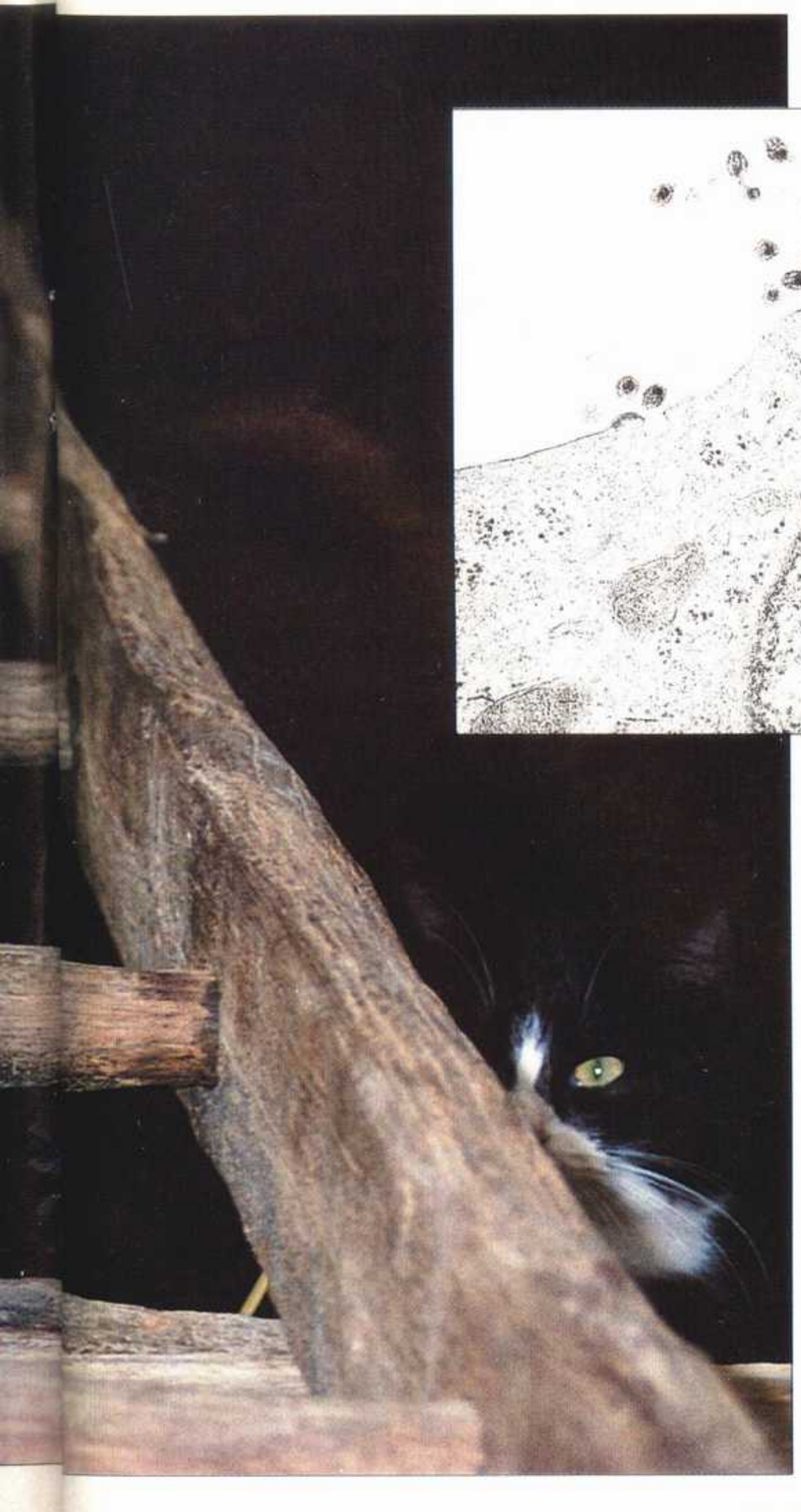


Figura 1. El virus de la inmunodeficiencia felina (FIV) afecta al gato doméstico (A) y a varios felinos salvajes, como la pantera de Florida (Felis concolor coryi) *(B). Unos glóbulos blancos, los linfocitos T4 (que se caracterizan por un receptor CD4) son, como en el caso del hombre, las principales células infectadas por este virus (C). La destrucción de estos linfocitos por el virus induce en los felinos una incapacidad del sistema inmunitario para luchar contra la infección, lo que conduce a un estado de inmunodeficiencia. (Fotos A: D. Pontier; B: Harvey/Wildlife Gmb Bios; C: Rhône Mérieux - Laboratoire IFFA.)*

A pesar de los progresos de la biología, las enfermedades infecciosas siguen siendo uno de los problemas capitales a los que han de enfrentarse las sociedades humanas. Los virus, especialmente, son unos patógenos temibles, ya que generalmente la medicina no dispone de medicamentos antivíricos eficaces. Por otra parte, ciertos virus permanecen en su huésped años enteros antes de causarle daños que pueden conducirle a la muerte, pero durante todo este tiempo, pueden ser transmitidos a otros individuos. Estos virus son los lentivirus, subfamilia de retrovirus a la que pertenece el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH, es decir, el virus del sida). En 1986, Niels Pedersen y sus colegas de la universidad de California, descubrieron en el gato doméstico (*Felis catus*) un retrovirus homólogo del VIH, el virus de la inmunodeficiencia felina (*Feline Immunodeficiency Virus*, FIV)[1] (fig. 1). A continuación, y gracias a los análisis de sueros conservados de gatos, los investigadores pudieron rastrear la huella serológica del virus hasta 1968, tanto en Estados Unidos como en Japón.

El FIV, que provoca el «sida del gato» es a éste último lo que el VIH es al hombre: es similar no sólo genéticamente, sino también morfológica, funcional y patológicamente (fig. 2 y recuadro 1). Su estudio es importante no sólo porque puede conducir a un tratamiento o a una vacuna para los gatos domésticos afectados, sino también porque algunos felinos salvajes (león, tigre, etc.) se ven asimismo afectados por cepas específicas de FIV. Además, como ningún animal reproduce perfectamente los mecanismos del sida humano, en ausencia de un modelo animal de sida totalmente satisfactorio, el FIV representa un buen

FRANK COURCHAMP está haciendo su tesis de doctorado en el laboratorio de biometría, genética y biología de las poblaciones, de la universidad Claude Bernard Lyon 1 (URA CNRS 243).
DOMINIQUE PONTIER es profesora en esta misma universidad.
JEAN-MARIE LEGAY es profesor de la universidad Claude Bernard y director científico adjunto del departamento de ciencias de la vida del CNRS.
MARC ARTOIS es director adjunto del Centre national d'études vétérinaires et alimentaires (CNEVA) de Malzéville.

medio de estudio del VIH, complementario de la investigación con otros lentivirus animales (véase recuadro 2).

Los modos de transmisión del sida del gato todavía no se han determinado con certeza. Actualmente, se piensa que el FIV no se transmite por vía sexual, sino únicamente por la saliva cuando se producen mordiscos.(2) Los contagios tendrían lugar en las luchas por el territorio o por las hembras. Por otra parte, y a diferencia de lo que ocurre en la mujer, el virus no pasaría la barrera placentaria de la gata, interceptando así la transmisión vírica por vía sanguínea de la madre al feto (véase «Sida: ¿cuándo tiene lugar la transmisión de la madre

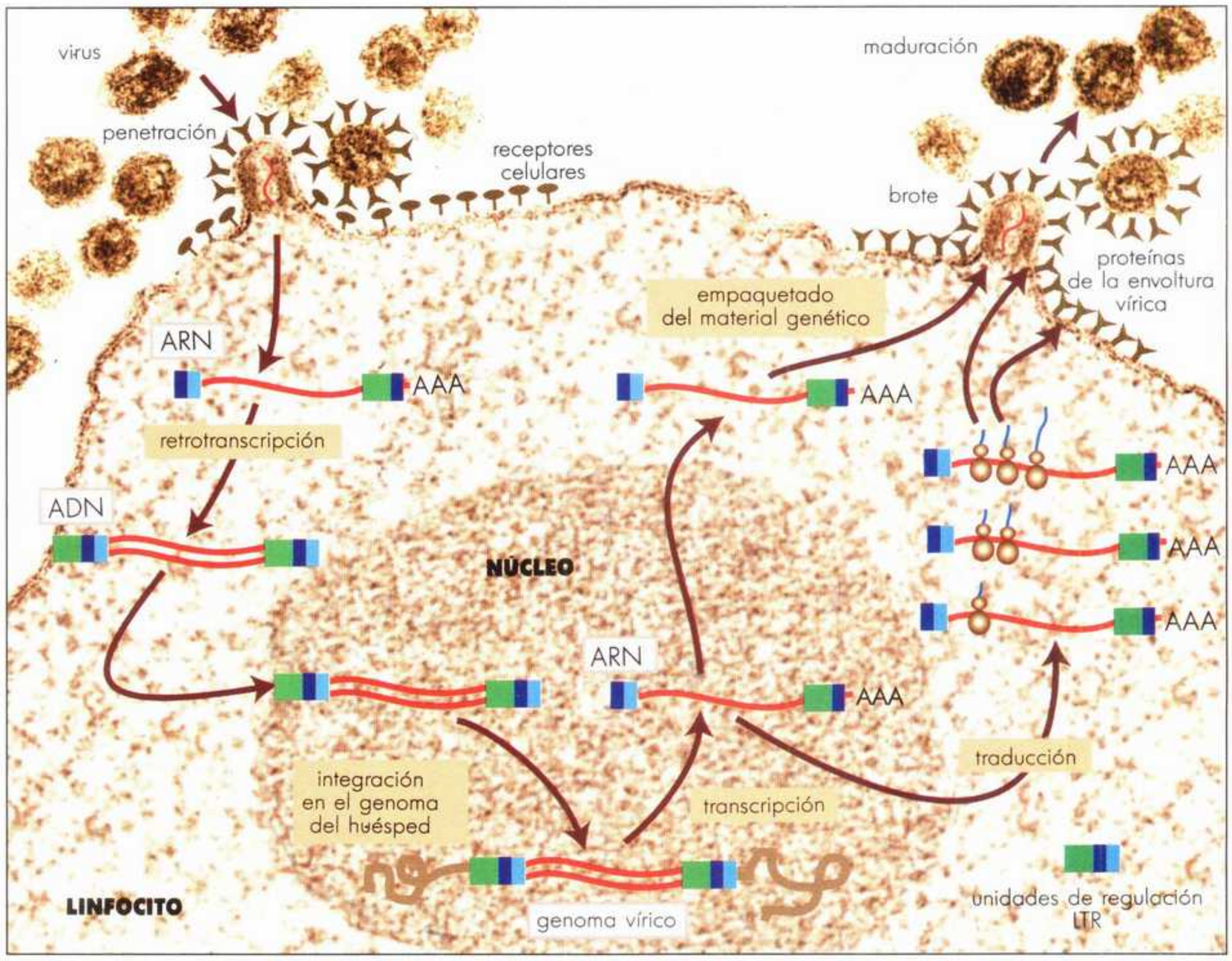


*Figura 2. La infección por el FIV es similar a la que produce el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Tal como indica el esquema (A), se efectúa en dos fases: una fase de penetración del virus y una fase de propagación de éste en el organismo huésped. Un enzima vírico, la transcriptasa inversa (*Reverse transcriptase, *en inglés) permite al virus, cuya información genética está formada por una simple hebra de RNA, transcribirse en una hebra de DNA (retrotranscripción). Seguidamente, ésta se desdobla en una hebra de DNA que se integra en los cromosomas de las células infectadas. Es entonces cuando la maquinaria celular admite los genes víricos y empieza a producir numerosas partículas víricas, que pueden verse en la fotografía de la derecha. La superficie de los linfocitos está modificada y no son reconocidos por las otras células protectoras de la sangre que les atacan y eliminan. (Fotos Dr. Helen M. Laird, Department of Veterinary Pathology, University of Glasgow Veterinary School.)*

al hijo?», *Mundo Científico*, nº 140, noviembre, 1993). La sucesión de las diferentes fases patológicas inducidas por el FIV es parecida a las que induce el VIH en el hombre.(3) La primera etapa de infección se caracteriza por un periodo de incubación de, aproximadamente, un mes y va precedido de una corta fase clínica de una duración equivalente. La segunda etapa es la de la seropositividad asintomática: el gato goza de buena salud, pero potencialmente es infectante. La duración de esta etapa puede ser del orden de varios años, aunque todavía no se conoce con precisión. Una linfadenopatía generalizada, síndrome que se caracteriza por una inflamación de los ganglios linfáticos, que, en general, persiste menos de un año, constituye la tercera etapa de la enfermedad, la cual suele dividirse en otras dos subetapas: el ARC (de *AIDS Related Complex*), que consiste en la aparición de síntomas asociados a la linfadenopatía de la etapa precedente, y el sida, caracterizado por una pérdida de las defensas inmunitarias que favorecen la aparición de enfermedades oportunistas,(4) lo que provocará la muerte a breve plazo. Un gato que llega a este estado tiene una esperanza de vida de tres meses a lo sumo.(5) Así, pues, después de un contagio que se produce, por término medio, entre el año y los tres años de edad, y mucho antes de que el virus mate a su huésped, la mayoría de los gatos, cuya esperanza media de vida es corta en el medio natural (cuatro a seis años),(6) muere antes de haber podido desarrollar el sida, pero demasiado tarde para evitar la transmisión del virus.

Al igual que en el VIH, sólo puede emplearse un tratamiento paliativo, y exclusivamente a nivel experimental. En efecto, con el AZT (zidovudina), es posible, por ejemplo, mejorar el estado de salud de un gato enfermo, pero tan sólo de manera transitoria: los efectos positivos se atenúan poco a poco y cesan totalmente en caso de suspender el tratamiento. Para ello, los investigadores se basan sobre todo en la inhibición de la transcriptasa inversa del FIV, un enzima muy parecido al del VIH, que reacciona ante los mismos inhibidores, especialmente el AZT y el PMEA(7) (véase «Los medicamentos antivíricos» y «La quimioterapia del sida», *Mundo Científico*, nº 78 y nº 124, marzo, 1988 y mayo, 1992).

Al igual que en el hombre, el diagnóstico de seropositividad se establece principalmente mediante tests de detección de los anticuerpos producidos por el sistema inmunitario contra el virus. Las investigaciones serológicas llevadas a cabo hasta el momento en todo el mundo por varios equipos han permitido demostrar que los machos están más afectados que las hembras. Esto no se debe a una predisposición relacionada con el sexo, sino a un comportamiento más agresivo de los machos entre sí, que da lugar a más cantidad de mordiscos. Por las mismas razones, los individuos jóvenes se ven menos afectados que los adultos. También interviene el modo de vida, ya que los gatos errantes o que viven preferentemente en el exterior tienen mayores probabilidades de estar expuestos a mordiscos que los gatos que viven en pisos.

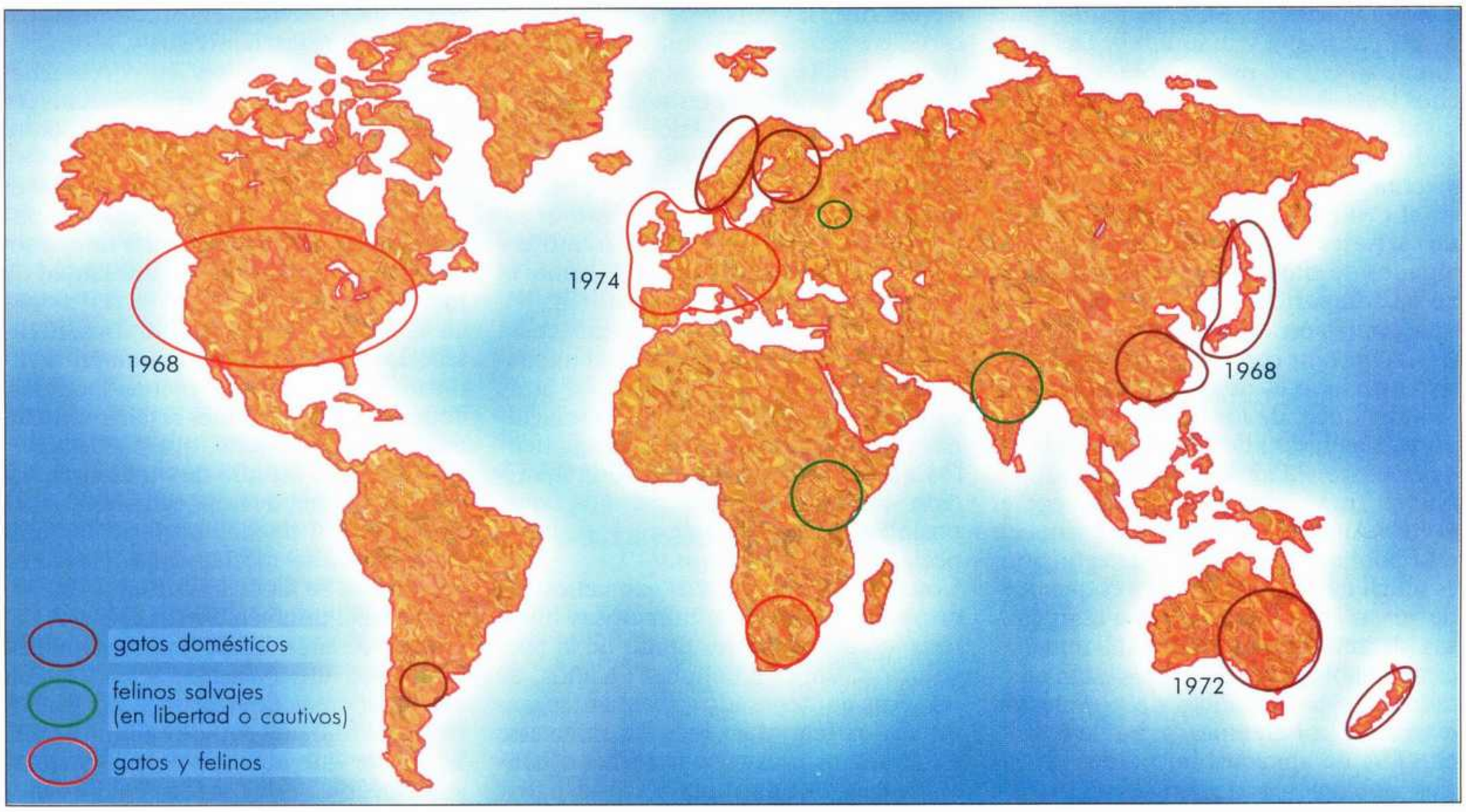
Nuestro equipo, tanto en el laboratorio CNRS de biometría, genética y biología de las poblaciones, perteneciente a la universidad Claude Bernard, de Lyon, como en el CNEVA (Centre national d'études vétérinaires et alimentaires) de Malzéville, está efectuando anualmente, desde 1991, tomas de muestras sanguíneas entre poblaciones naturales de

◀ *Figura 3. A fin de determinar el número de gatos infectados por el FIV en una población natural, los animales se capturan ya sea a mano (gatos domésticos), ya sea por medio de jaulas con cebo (gatos errantes). A continuación, se les tranquiliza para ser examinados —condiciones de salud a cargo de un veterinario, condiciones serológicas mediante toma sanguínea— e individualizados (fotografías, huellas genéticas, marcaje mediante collar fluorescente y chip electrónico), antes de ser soltados. De este modo, los autores han podido estimar el índice de seropositividad (entre el 9 % y el 33 % según las poblaciones). Según otros métodos (muestreo en clínicas veterinarias), el índice mundial se sitúa entre el 3 % y el 45 % según los estudios, lo que da una media mundial del 10 %. (Foto: D. Pontier.)*

gatos. De una manera extremadamente simplificada, diremos que estas poblaciones son grupos de gatos que viven en límites geográficos comunes, y que pueden tener encuentros en cualquier momento (fig. 3). Hasta donde sabemos, son los únicos estudios serológicos efectuados en medios urbano o rural con muestras representativas de tales poblaciones (del orden de cincuenta individuos por población, es decir, un total de aproximadamente de doscientos gatos sometidos anualmente a análisis entre todas las poblaciones). Los índices de prevalencia son del 9 % a 33 % según las poblaciones observadas, y los diferentes resultados publicados permiten suponer una variabilidad todavía más acentuada. En base a un efectivo de diez millones de gatos domésticos estimados en Francia,[8] se llegaría a un número de individuos afectados comprendido entre uno y tres millones. Sin embargo, esta estimación se ha de revisar a la baja si se tiene en cuenta el gran número de gatos que jamás están en contacto con sus congéneres. En los otros países, los índices de prevalencia varían entre el 3 % y el 45 %, según la naturaleza de las muestras, ninguna de las cuales se refiere a poblaciones reales.

La «media mundial» sobre casi ochenta mil gatos, es del 10 %.[9] Una estimación hecha por uno de nosotros (J.-M. L.) en 1986 daba un efectivo mundial de más de cuatrocientos millones de gatos domésticos.[8] Así, pues, si se considera que estas estimaciones tienen actualidad, que los índices de prevalencia son justos, y sabiendo, además, que el FIV se ha aislado en todos los países del mundo donde se ha investigado, en los cinco continentes (fig. 4), y con la hipótesis más optimista, un total de

Figura 4. El FIV ha sido descubierto en todos los países del mundo donde se ha investigado. En efecto, se ha aislado en América del norte y en América del sur, en casi todos los países de Europa occidental, incluidas Escandinavia y las Islas Británicas, en Rusia, en África, en Asia, en Australia y en Nueva Zelanda. Gracias a la conservación de sueros de gatos, ha sido posible seguir el rastro serológico del virus hasta 1968, tanto en Estados Unidos como en Japón, hasta 1972 en Australia y 1974 en Francia. Desafortunadamente, estas serotecas son escasas y raramente se remontan a las fechas indicadas. Sin embargo, esta distribución, muy vasta, asociada a otros argumentos abogan en favor de una aparición antigua del FIV, muy anterior a las fechas recientes que indica el descubrimiento de la infección. ▼



(1) N.C. Pedersen *et al., Science, 235,* 790. 1987.
(2) E.E. Sparger, *Small Animal Practice, 23,* 173, 1993.
(3) T. Ishida *et al., Vet. Immunol. Immunopath., 35,* 15, 1992.
(4) T. Miyazawa y T. Mikami, *J. Vet. Med. Sci., 55,* 519, 1993.
(5) N.C. Nedersen *et al., Vet. Immunol. Immunopathol., 21,* 111, 1989.
(6) J.M. Legay y D. Pontier, *C.R. Acad. Sci. Paris, 296* III, 33, 1983.
(7) H.F. Egberink *et al.,* JAVMA, 199, 1485, 1991.
(8) J.M. Legay, *C.R. Acad. Sci. Paris, 303* III, 709, 1986.
(9) Para una lectura parcial de esta evaluación, véase ref. (2)
(10) M.C. Barr *et al., J. Zoo & Wildlife Med., 20,* 265, 1989.
(11) J.D. Letcher *et al., J. Zoo & Wildlife Med., 22,* 324, 1991.
(12) E.W. Brown *et al., Zoo Biology, 12,* 135, 1993.
(13) S.C. Barr *et al., J. Eukariotic Microbiol., 40,* 233, 1993.

El virus de la inmunodeficiencia felina (FIV)

El genoma del FIV comprende los principales genes comunes al conjunto de los retrovirus (*gag, pol, env*). Estos genes son el origen de las proteínas que constituyen la partícula vírica y de los enzimas víricos encargados de la replicación del genoma. Otros varios genes, llamados accesorios, solamente existen en los lentivirus como el FIV o el VIH (virus de la inmunodeficiencia humana). El FIV poseería al menos cuatro, dos de los cuales han sido identificados: el gen *vif*, que es esencial para que las partículas víricas sean infecciosas, y el gen *rev*, que participa en la regulación de la síntesis de las proteínas víricas.

Aparentemente el gen *nef*, que condiciona la patogenicidad de los lentivirus de los primates (VIH y SIV) está ausente del genoma del FIV, sin que esto disminuya las propiedades infecciosas de este último. La diversidad genética del FIV es comparable a la conocida en otros lentivirus; se han identificado casi veinte cepas diferentes. Las más variables son las glicoproteínas de la envoltura vírica; el análisis de sus secuencias ha puesto de manifiesto divergencias del 9 % a 14 % entre los aislados europeos y americanos, y del 19 % entre estos últimos y una cepa japonesa. Parece verosímil que esta variabilidad genética facilite el escape del virus a la respuesta inmunitaria y la persistencia de la infección. Estas variaciones también pueden modificar otras propiedades determinantes de la capacidad patógena del FIV, como la velocidad de la replicación vírica o el tipo de células-diana (el tropismo celular).

A este respecto, se ha pensado durante mucho tiempo que el receptor CD4, presente en la superficie de ciertos linfocitos T (TCD4+) era la principal puerta de entrada del FIV en estas células, como ocurre con el VIH. En efecto, el tropismo del virus para los linfocitos TCD4+ y la depleción de estas células en los gatos infectados sugerían una gran afinidad vírica de la molécula CD4. Pero nuestro equipo, en colaboración con David Klatzmann, del hospital Pitié-Salpetrière (París), pudo demostrar en 1992, clonando la proteína CD4 felina y haciendo que se expresara en sistemas celulares, que esta molécula no es el receptor del FIV.[19] En cambio, James C. Neil y sus colegas, de la universidad de Glasgow, demostraron en 1993 que un anticuerpo monoclonal dirigido contra el equivalente felino de la molécula CD9 humana es capaz de bloquear la infección por el FIV.[20] Esto sugiere que dicha proteína, que se expresa frecuentemente en la superficie de las células CD4+, es necesaria para la entrada del FIV, a pesar de que las células CD9+ no sufren claramente depleción. Se necesitan otros estudios en profundidad para confirmar esta pista.

En realidad, durante la infección, el FIV infecta el conjunto de las células mononucleadas de la sangre periférica (linfocitos T y B, monocitos, macrófagos). Contrariamente al VIH, que se encuentra específicamente en las células que llevan la molécula CD4 (linfocitos TCD4+ y macrófagos), en los gatos infectados desde más de un año, el FIV se encuentra mayoritariamente en los linfocitos B. Así, pues, sorprende constatar que dos virus que poseen numerosos puntos en común a nivel genético y que inducen patologías muy parecidas, es decir, una inmunodeficiencia con déficit de las células portadoras de CD4, utilizan receptores diferentes. En el caso del VIH, la infección de los linfocitos TCD4+ no explica por sí sola la inmunodeficiencia. Al propio tiempo, el sida del gato podría ayudarnos a comprender ciertos mecanismos que no están vinculados a la molécula CD4 y que provocan la destrucción de los linfocitos T y el sida en el hombre. En ausencia de conocimientos muy precisos sobre el FIV, las perspectivas de una vacuna siguen siendo todavía lejanas. Es cierto que Janet Yamamoto y sus colegas de la universidad Davis (California) anunciaron en 1993 la puesta a punto de una vacuna para la protección de los gatos contra varias cepas del virus.[17] Pero esta vacuna, como las que se ensayaron anteriormente, sólo es eficaz en condiciones experimentales muy especiales, y su aplicación no puede ampliarse a las condiciones reales.[21] Como en el caso del VIH, la elaboración de una vacuna comercializable contra el FIV es probable que tarde todavía varios años.

Pierre Sonigo y Gianfranco Pancino
CNRS UPR 415 - Génétique des virus. Institut Cochin de génétique moléculaire, París

doce millones de gatos podrían ser seropositivos (3 % de los gatos infectados).

En realidad, el gato doméstico no es el único felino afectado por el FIV. Al menos diez especies de felinos salvajes también están afectados por cepas víricas específicas: león, jaguar, puma, tigre, pantera, guepardo, lince, leopardo, gato de cabeza plana y manul.[9-13] Del gato montés (*Felis silvestris*), sólo se han hechos tests —negativos— de algunos individuos; a pesar de todo, está amenazado, según un estudio reciente efectuado por uno de nosotros (M.A.) en el CNEVA[14] El contagio de los felinos salvajes es preocupante, puesto que algunos de ellos corren localmente riesgo de desaparición. Por ejemplo, existe una población de panteras de Florida (*Felis concolor coryi*) (fig. 1B) cuyo efectivo estimado es de menos de cincuenta individuos, de los cuales una tercera parte, según estudios de Margaret Barr, de la universidad de Ithaca (Estado de Nueva York), está ya infectada por el FIV.[10] Aunque el impacto del virus en esta población, ya en vías de extinción, es difícil de evaluar, lo cierto es que puede ser un agravante respecto a otras causas de mortalidad. De igual manera, ciertas poblaciones de felinos están afectadas con unos índices de prevalencia extremos: por ejemplo, se ha detectado el 80 % de animales infectados en varias poblaciones de leones de África oriental (Tanzania y Kenia) y en África del sur (parque nacional de Kruger).[15] Cada especie de felino está infectada por una cepa diferente de virus, y no ha podido conseguirse la infección de un gato por una cepa aislada a partir de un león contagiado,[16] lo que parece demostrar una diferenciación bastante marcada entre las diversas cepas de FIV. Algunos estudios genéticos llevados a cabo en 1992 por Robert Olmsted y sus colegas, del laboratorio de enfermedades infecciosas de Maryland, demuestran que, en realidad, las diversas cepas de FIV de los diferentes felinos están genéticamente tan alejadas unas de otras como lo están entre sí los lentivirus del hombre y del simio.[15] Este hecho, así como la distribución mundial del virus (fig. 4), la prueba serológica de su existencia desde, al menos, 1968, y el débil impacto del virus (en comparación con otras causas de mortalidad) en las poblaciones de gatos domésticos son argumentos que abogan en favor de una aparición bastante antigua del FIV, que, posiblemente, dataría de antes de la especiación de los felinos.[9,15]

Como en el caso del VIH, esta cuestión está siendo objeto de numerosas hipótesis. ¿Es el FIV el resultado de la coevolución, durante millones de años, de un virus «antepasado» y del antepasado de los felinos, o bien ha infectado a los felinos más recientemente a consecuencia de una mutación y a partir de un huésped perteneciente a otro orden animal? O, de una manera más general ¿derivan todos los lentivirus de un antepasado común, con una coevolución entre el huésped y el virus? El estudio de las analogías entre los árboles filogenéticos de los huéspedes y los de los virus podría aportar un principio de respuesta. Además, el estudio de estos pares huéspedes/lentivirus y, a otra escala, la del par felinos/lentivirus deberían hacernos avanzar en el conocimiento de los sistemas de coevolución entre huéspedes y parásitos.

También hay que tener en cuenta que el estudio del sida del gato doméstico podría tener una importancia creciente para la salvaguardia de la diversidad de los felinos. En efecto, observar leones en su propio hábitat, capturarlos, mantenerlos en laboratorio, examinarlos clínicamente son cosas apenas factibles. Todas estas operaciones resultan mucho más fáciles en el gato, que puede servir de modelo de estudio de varias especies.

Otro problema de importancia es saber lo que el FIV puede aportar a la comprensión de los mecanismos del sida en el hombre. Se ha observado que este virus cumple también ciertos criterios derivados de un modelo de infección humana por VIH (véase recuadro 2). En efecto, además de su semejanza genética y morfológica con este último, y del hecho de que algunos de sus enzimas son sensibles a las mismas sustancias,

(14) M. Artois y M. Remond, *The Vet. Record*, 1994.
(15) R.A. Olmsted *et al., J. Virol., 66*, 6008, 1992.
(16) H. Lutz *et al., Vet. Immunol. Immunopath., 35*, 215, 1992.
(17) J. K. Yamamoto *et al., J. Virology, 67*, 601, 1993.
(18) H. Lutz, *Vet. Microbiol., 23*, 131, 1990.
(19) A.M. Dumont-Drieux *et al., AIDS Res. Hum. Retroviruses, 8*, 1581, 1992.
(20) M.J. Hosie *et al., J. Virol., 67*, 1667, 1993.
(21) M.J. Hosie *et al., Vet. Immunol. Immunopathol., 35*, 191, 1992.
(22) M.B. Gardner y P.A. Luciw, *The FASEB J., 3*, 2593, 1989.
(23) D. Dormont, *Path. Biol., 38/3*, 182, 1990; D. Dormont y R. Le Grand, *Biofutur, 135*, 45, 1994.
(24) M.B. Agy *et al., Science, 257*, 103, 1992.

2

Los modelos animales para el estudio del sida

Hace solamente unos quince años, sólo se conocían dos lentivirus: el EIAV (*Equine Infectious Anemia Virus*) del caballo, y el CAEV (*Caprine Arthitis Encephalitis Virus*) de la cabra. Luego, se ha descubierto el VMV (*Visna Moedi Virus*) de la vaca, el HIV o VIH (*Human Immunodeficiency Virus*) del hombre, el SIV (*Simian Immunodeficiency Virus*) del simio y el FIV (*Feline Immunodeficiency Virus*). Las cuatro primeras especies de mamíferos se hallan fácilmente disponibles y su biología es relativamente bien conocida. Desafortunadamente, su cautividad en laboratorio no es de las más prácticas y, sobre todo, sus lentivirus están demasiado alejados del VIH para servir de modelo de estudio adecuado. Se han intentado infecciones por el VIH en conejos y en varias especies de roedores de laboratorio, e incluso en ratones inmunodeficientes (SCID) que habían recibido elementos del sistema inmunitario humano.[22] Estos modelos ofrecen la posibilidad de estudiar el VIH en animales que presentan muchas ventajas para los trabajos experimentales en laboratorio: intervalo de generación corto, buen conocimiento desde el punto de vista genético y patológico, tamaño adecuado y coste módico. Desafortunadamente, la duración de vida de estos animales es corta y, hasta el momento, su infección jamás ha dado lugar a la aparición de signos clínicos de inmunodeficiencia comparables al sida. También los simios constituyen el principal modelo animal de las infecciones por el VIH.[23] El chimpancé es infectable por el VIH-1, pero no desarrolla la enfermedad; en cambio, los macacos infectados por el VIH-2 y, sobre todo, por determinados SIV, desarrollan síntomas clínicos muy parecidos al sida.[24] Pero en estos modelos intervienen cepas de SIV que jamás se han encontrado en la naturaleza, y las cepas *in natura* no son patógenas. En consecuencia, tales modelos son relativamente artificiales en comparación con infecciones naturales por lentivirus patógenos. Además, los simios no son los animales más adecuados para las investigaciones de laboratorio: en su mayor parte están en vías de extinción y, por tanto, escasamente disponibles para su compra. Por otra parte, se conocen poco los diferentes agentes patógenos que pueden afectar a los simios y, por tanto, interaccionar con el SIV. Así, pues, no existe uno, sino varios modelos animales para el estudio del VIH; todos ellos tienen ventajas específicas. Tratar de determinar el mejor de ellos es, en realidad, un falso debate, ya que todos deben utilizarse según el mecanismo estudiado y según las fases de la investigación, a fin de sacar provecho de cada analogía o cada ventaja particular.

y a dosis parecidas, que las del VIH, implica células y órganos-diana idénticos y causa síndromes muy parecidos a los del hombre, con una sucesión de fases patológicas análogas. Finalmente, y sobre todo, el FIV actúa sobre un animal con muchas de las características requeridas en los trabajos experimentales de laboratorio. No hay que olvidar que el gato tiene un metabolismo suficientemente parecido al del hombre para que las comparaciones sean razonables. Este felino se conoce bien a nivel genético, inmunológico y patológico (especialmente vírico). Por este motivo, pueden hacerse estudios sobre un número importante de individuos, lo que permite, por una parte, unos resultados estadísticamente fiables y, por otra, el estudio sistemático de una gran cantidad de sustancias antivíricas parecidas. Un punto a tener en cuenta, por razones tanto éticas como científicas, es que los gatos existen naturalmente en estado infectado. Hay también crianzas controladas en las que los gatos están totalmente protegidos de organismos patógenos específicos. Finalmente, los gatos tienen una vida suficientemente larga en laboratorio para permitir un seguimiento de todas las fases de la enfermedad, y son relativamente accesibles y observables en estado natural.

Sin embargo, el FIV tiene también inconvenientes en tanto que modelo. En particular, según se ha comprobado, su modo de transmisión es distinto respecto al VIH: no es ni sexual ni perinatal. Desde el punto de vista genético, su proximidad con el VIH es menor que la del virus de inmunodeficiencia del simio (SIV) (los simios son fisiológicamente más parecidos al hombre que el gato). A pesar de todo, hay algo positivo: el contagio del hombre por el FIV parece imposible. Numerosos equipos de investigadores han tratado de poner de manifiesto esta circunstancia.[17,18] Por ejemplo, se han intentado reacciones inmunológicas cruzadas entre el FIV y los anticuerpos humanos anti-VIH. Todos los resultados han sido negativos, lo que parece sugerir que estos dos virus son suficientemente distintos. También se han intentado infecciones entre cepas de FIV y células humanas, siempre sin efecto. Finalmente, se han efectuado tests de búsqueda de infección por el FIV y por el VIH en decenas de personas que habían estado en contacto con el FIV. Jamás ninguna había sido infectada.■

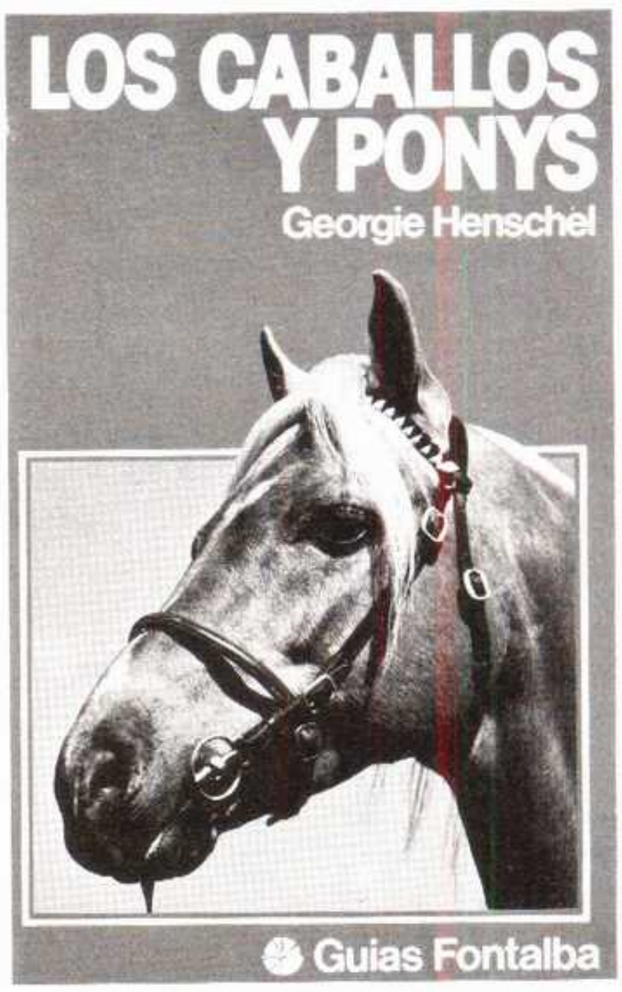
PARA MÁS INFORMACIÓN:

■ N.C. Pedersen, «The feline immunodeficiency virus» *in* J.A. Levy (ed.), *The Retroviridae*, vol. 2, Plenum Press, 1993.

■ M.B. Gardner, «Simian and feline immunodeficiency viruses: animal lentivirus models for evaluation of AIDS vaccines and antiviral agents», *Antiviral Research, 15*, 267, 1991.

■ Para una bibliografía más completa véase la página 993.

LOS CABALLOS Y PONYS



Esta guía nos hace una descripción exhaustiva, tanto de los caballos como de los ponys. Además de un breve relato del caballo en la historia de la humanidad, incluye una relación de las razas principales, con una amplia descripción de cada una de ellas y acompañadas de abundante ilustración.

Formato: 13,5 × 20 cm

Páginas: 128 en cartoné

Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P. 923 Ptas. (Incluido IVA)

Pídalo a su librero
o contrarrembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

Valencia, 359 – 6.º 1.ª
08009 Barcelona (España)

DNA ANTIGUO, UNA ÚTIL HERRAMIENTA PALEOGENÉTICA

IÑAKI FERNÁNDEZ CALVO

Desde que en 1984 Alan Wilson clonó DNA de un équido que se extinguió hace ciento once años, muchas disciplinas científicas han mostrado su interés por los estudios basados en DNA antiguo. Reconstruir los procesos migratorios humanos del pasado o establecer los parentescos familiares entre restos óseos y personas actuales son dos de los campos científicos más beneficiados de la paleogenética. Precisamente este mismo año se han presentado los resultados de un trabajo anglorruso que determina que los esqueletos hallados en 1991 en Ekaterimburgo pertenecen a la familia imperial rusa, asesinada por los bolcheviques en 1918. A lo largo de estos dos lustros de vida, el DNA antiguo ha demostrado ser una eficaz herramienta para resolver incógnitas científicas que, de otro modo, quizá deberían esperar unos cuantos años más en hallar la solución.

Sin duda fue uno de los días más calurosos de la futura ex Unión Soviética. Quizá el cielo estuvo nublado, y hasta incluso puede que lloviera. Pero el acontecimiento que tuvo lugar en julio de 1991 en los Urales rusos, seguro que hizo subir varios grados la temperatura interna de muchos soviéticos y extranjeros.

Nos encontramos a 32 kilómetros de Ekaterimburgo, ciudad rusa fundada en 1721 y que se halla en la vertiente oriental de los Urales. Gely Ryabov, escritor de novelas de aventuras y ex policía, y Alexander Avdonin, historiador, descubren en el borde de la carretera un extraño montículo que levanta sus sospechas. Tras una primera prospección del lugar, deciden cavar un hoyo y satisfacer así la enorme curiosidad que les invade. De repente, cuando todavía no han excavado ni siquiera un metro, el corazón les da un vuelco. Han detecta-

Figura 1. La controversia sobre cuándo y de qué forma llegaron los primeros pobladores al continente americano procedentes de Asia todavía no está resuelta. No obstante, parece que el mundo científico en general apoya la hipótesis elaborada por Douglas Wallace, a raíz de sus estudios con DNA mitocondrial. Según este autor, los indios americanos descienden de cuatro grupos de «madres fundadoras» asiáticas, que arribaron al continente americano en una primera oleada de migración hace unos 42 000 a 21 000 años. Por su parte, el resto de «primeros» pobladores del Nuevo Mundo (aleutianos, esquimales y NaDene), que se establecieron en Alaska y alrededores, llegaron a tierras americanas en una segunda fase hace 12 500-6 000 años. Varios investigadores han apoyado esta hipótesis basándose en estudios de DNA antiguo. El más reciente de éstos (agosto de 1993) corresponde a los antropólogos Anne Stone y Mark Stoneking, de la universidad estatal de Pensilvania. (Foto: Iñaki Fernández.)

do algo duro, y no se trata de una piedra. Dirigidos por inconscientes impulsos nerviosos y una ansiedad infinita, los dos vecinos de Ekaterimburgo, convertidos por momentos en verdaderos «detectives forenses», continúan sus labores exhumatorias. En pocos minutos, sus sospechas se convierten en intriga: han encontrado los restos óseos de varias personas. Todavía estupefactos por lo que ven sus ojos, Ryabov y Avdonin ponen en conocimiento de las autoridades rusas el asombroso hallazgo. No tarda mucho el gobierno en autorizar una investigación oficial coordinada por el Chief Forensic Medical Examiner of the Russian Federation. La fosa común contenía restos de varios esqueletos humanos, lo que hace pensar a más de uno que podría tratarse de la familia Romanov; pero es mejor esperar a las pruebas forenses, consideran. A pesar del mal estado en que se encuentran muchos huesos, ha sido posible contabilizar un total de nueve cuerpos. Todos los esqueletos muestran signos de violencia y malos tratos producidos antes de morir. Algunos de los cráneos presentan heridas de bala y marcas de bayoneta. El esplacnocráneo, esto es, la parte facial del cráneo, está completamente destruido, lo que dificulta aún más, si cabe, la utilización de las técnicas clásicas de identificación facial a partir únicamente del cráneo. Los expertos rusos en la difícil, y en ocasiones desagradable, disciplina forense se disponen a trabajar de inmediato con el material encontrado por Avdonin y Ryavob. Para ello utilizan programas informáticos destinados a facilitar la tarea de reconstruir rostros y dientes, así como a estimar la edad y el sexo de cada esqueleto. Afortunadamente, alguno de los restos posee oro, platino y porcelana en los dientes, lo que significa que muy posiblemente perteneció a la aristocracia. Todas las pruebas realizadas sobre los nueve cadáveres motivaron el unánime pronunciamiento de los científicos rusos: los restos hallados cerca de Ekaterimburgo pertenecen al zar Nicolás II, a la zarina Alejandra (su esposa), a tres de sus hijas, a tres sirvientes y al médico de la familia, el doctor Eugeny Botkin.

Esta conclusión se apoya firmemente en el informe elaborado durante los años 1918 y 1919 por el investigador ruso Nikolai Sokolov; documento éste considerado como la versión histórica real de los últimos días de la familia Romanov. Según se puede leer en sus páginas, la familia del zar Nicolás II permaneció prisionera en la Casa Ipatiev, en Ekaterimburgo. Poco después de la medianoche del 16 de julio de 1918, el zar Nicolás II, la zarina Alejandra, sus cuatro hijas (Tatyana, María, Olga y Anastasia) y su hijo Alexei, junto a tres sirvientes y al médico de cabecera, fueron conducidos a la bodega de la casa. Allí, sin mediar palabra, fueron fusilados por un pelotón bolchevique, el cual remató a puñaladas los cuerpos que todavía permanecían con vida. Posteriormente, les despojaron de sus ropas y les metieron en un camión con la intención de trasladarlos a una mina, donde serían sepultados. Sin embargo, durante el trayecto se produjo un contratiempo: el camión en el que viajaban sufrió una avería mecánica que imposibilitaba seguir rumbo a la mina. Los bolcheviques optaron, entonces, por cavar un hoyo en el borde de la carretera y, tras rociarlo de ácido sulfúrico (de esta forma evitaban la posible identificación de los cuerpos, caso de que fueran hallados), enterraron los cadáveres. Por último, el camión pasó varias veces por encima de la tumba para aplanar el terreno y no dejar señales.

A pesar de las evidencias forenses e históricas, así como de la coincidencia entre ambas, hay en toda esta trama una pregunta que todavía hoy no tiene respuesta: ¿qué ocurrió con los cuerpos del zarevitz Alexei y de una de sus hermanas? Algunos creen que los cuerpos fueron quemados o enterrados en otro lugar. Otros, en cambio, aseguran que lograron escapar a la matanza.

Sea como fuere, lo cierto es que los hechos aquí narrados nunca fueron verificados desde el punto de vista científico. Ahora, fruto de un exhaustivo trabajo científico realizado por un grupo de investigadores anglorrusos, se acepta que los restos hallados a 32 kilómetros de Ekaterimburgo son los del zar Nicolás II, de la zarina Alejandra, de tres de sus hijas, de tres sirvientes y del médico Eugeny Botkin. La Ciencia da, pues, su visto bueno.

PARENTESCOS ENTRE RESTOS DEL PASADO Y PERSONAS ACTUALES

Fue en 1992 cuando un grupo de científicos dirigido por el doctor Peter Gill, del Central Research and Support Establishment, Forensic Science Service, en Reino Unido, recibió la invitación del Chief Forensic Medical Examiner of the Russian Federation para iniciar una investigación anglorrusa utilizando técnicas basadas en el DNA, que permitieran verificar la autenticidad de los restos de Ekaterimburgo. El DNA fue descubierto en 1869, si bien su papel dentro del campo de la genética no se comprendió hasta mediados de este siglo. A lo

IÑAKI FERNÁNDEZ
es biólogo y periodista científico.

largo de los últimos años ha demostrado ser una poderosa herramienta forense en la identificación de restos antiguos. Partiendo de esta base, el equipo de Gill llevó a cabo dos tipos de estudios paleogenéticos.(1) Uno basado en el análisis cromosómico del DNA —permite determinar el sexo a partir de restos óseos antiguos, así como las posibles relaciones familiares entre ellos— y otro que consistió en analizar el DNA mitocondrial, lo que permite establecer parentescos entre las víctimas y sus familiares vivos.

La determinación del sexo de los esqueletos fue posible gracias a la amplificación de un gen que se halla en la porción homóloga de los cromosomas X e Y. El resultado de esta experiencia corrobora las conclusiones a las que llegaron los forenses rusos tras analizar físicamente los restos. En total, cuatro varones y cinco mujeres.

Para averiguar las posibles relaciones familiares existentes entre los nueve esqueletos, Gill y su equipo amplificaron, de cada cuerpo, cinco loci STR (*Short Tandem Repeats*), marcadores muy polimórficos. Con el fin de evitar posibles errores, los investigadores anglorrusos analizaron todas las muestras un mínimo de cuatro veces, mientras que aquéllas que aparentemente eran homozigóticas, un mínimo de seis. El resultado de esta prueba demuestra que uno de los hombres y la mujer eran los padres reales de las tres niñas; el resto de adultos no tenían nada que ver con ellos. El estudio de los marcadores STR también aclara que una de las hijas del zar y su hijo Alexei no estaban enterrados en la fosa común de Ekaterimburgo, aunque, como es evidente, no indica nada sobre sus paraderos. Estas primeras conclusiones del grupo de Gill ya sugieren que los restos de Ekaterimburgo podrían ser los de la familia Romanov, sus sirvientes y el médico de cabecera. Pero aún restaba una última prueba, quizá la más concluyente de todas. Los científicos anglorrusos analizaron las regiones hipervariables HVR1 y HVR2 del DNA mitocondrial, tanto de los nueve esqueletos de Ekaterimburgo como de algunos de los descendientes actuales de la familia imperial rusa. Hay que tener en cuenta que el DNA mitocondrial se transmite únicamente por vía materna. Esto quiere decir que para averiguar las posibles relaciones del zar con algún pariente actual, es obligado buscar un antecedente común femenino, como puede ser la hermana de la madre del zar o su abuela. Por otro lado, la razón por la que es conveniente estudiar regiones hipervariables del DNA mitocondrial es que cuanto más cercanos se encuentran dos individuos en el árbol genealógico —teniendo en cuenta tan solo la línea materna—, menos diferencia existe entre las bases nitrogenadas de sus ADNs mitocondriales. Si además tenemos en cuenta que la región analizada varía muy fácilmente, el método se convierte en una herramienta de extraordinaria sutileza genética, ya que a más distancia filogenética, más notable es la variación. Al amparo de esta teoría, tal y como hemos indicado con anterioridad, los científicos esperaban establecer relaciones de parentesco entre las víctimas de Ekaterimburgo y sus supuestos familiares vivos. De este modo, el grupo de Gill podría asegurar, según cuál fuera el resultado, si los restos en cuestión pertenecían a la familia Romanov o no.

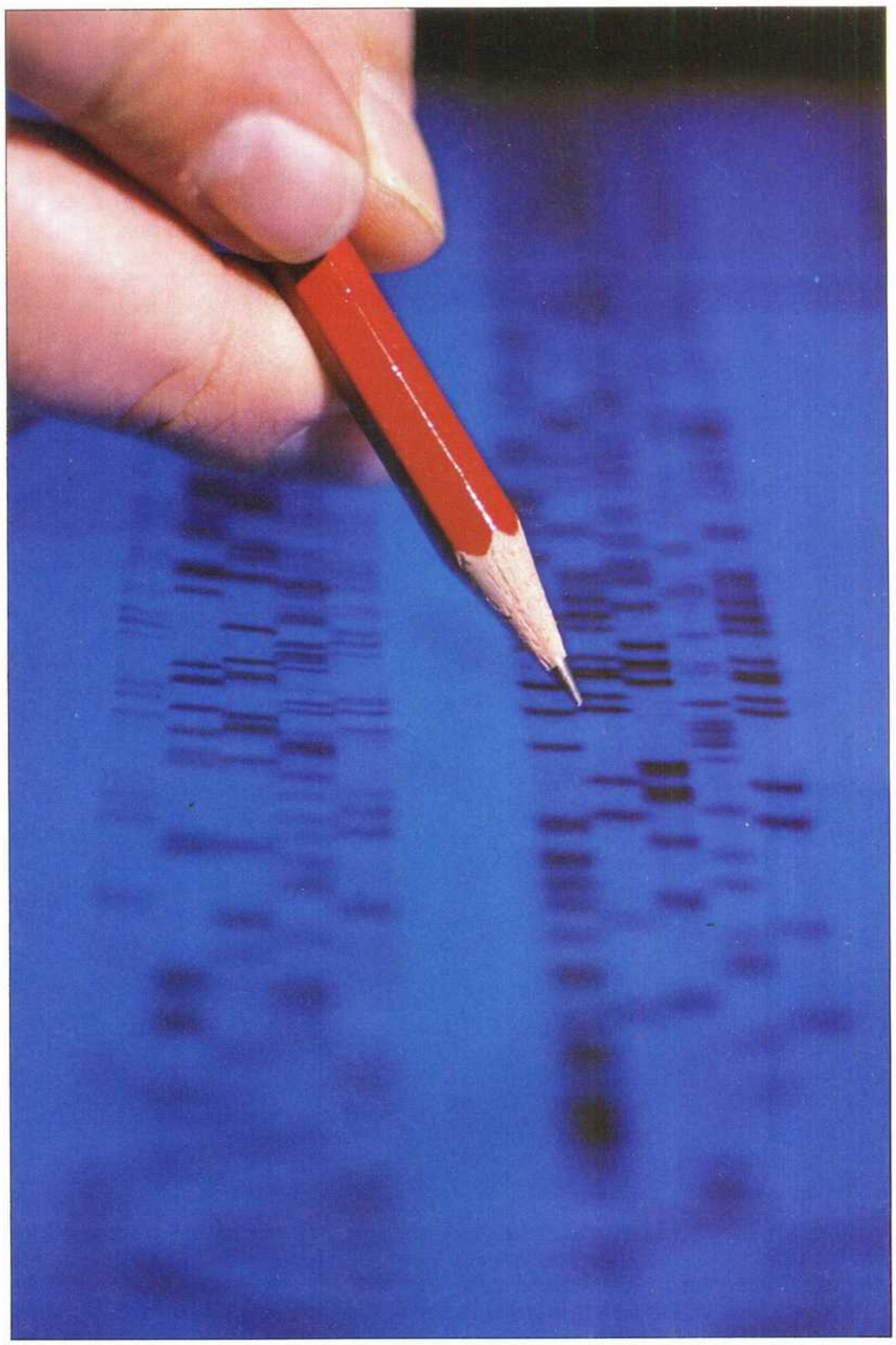


Figura 2. La posibilidad de amplificar y secuenciar DNA antiguo ha abierto muchas líneas de investigación científica. Así, los antropólogos se apoyan en la paleogenética para rastrear el pasado, los médicos pueden investigar enfermedades actuales sabiendo cómo actuaban en tiempos pretéritos y los evolucionistas pueden llegar a resolver algunas de las incógnitas que todavía existen hoy en día sobre la evolución de las especies. Desde el punto de vista social, una de las disciplinas más beneficiadas ha sido la antropología forense. La amplificación y secuenciación de DNA antiguo ha permitido resolver casos como el de la familia Romanov, el de Josef Mengele (el «Ángel de la muerte» de Auschwitz) o el de Karen Price, una joven galesa asesinada en 1981 cuyos restos fueron hallados ocho años después. (Foto I. Fernández/C. Balsalobre.)

A la hora de obtener el DNA mitocondrial de los restos óseos de Ekaterimburgo, ha sido fundamental la intervención de la bióloga molecular Erika Hagelberg, del departamento de antropología biológica (universidad de Cambridge).

LOS RESTOS ÓSEOS PERMITEN REGRESAR A UN PASADO GENÉTICO MÁS LEJANO

La doctora Hagelberg es pionera en desarrollar una técnica que permite extraer DNA antiguo a partir de tejido duro (hueso y dientes). El proceso de extracción se inicia con la selección de un pedazo pequeño de hueso y su posterior trituración con nitrógeno líquido (así se evita dañar el DNA). Después de secar la muestra, se lava con EDTA para quitar las impurezas y a continuación se centrifuga a gran velocidad. Este último paso es de gran importancia, ya que permite separar el polvo óseo, que yace en el fondo, de otros elementos no deseados. Tras repetir este paso dos o tres veces, se añade de nuevo EDTA y también proteinasa-k, un enzima que rompe las proteínas. La última etapa consiste en disponer la muestra en una incubadora durante 24 horas y a una temperatura de 50 °C. Al final del proceso se obtiene un fragmento de DNA, cuyo origen es el tejido óseo.

En cuanto a la obtención de DNA de los parientes actuales pertenecientes al linaje de la familia Romanov, los investigadores anglorrusos tomaron simples muestras de sangre, proceso mucho menos latoso y complicado que el descrito en las líneas precedentes. Después de la extracción, amplificación y secuenciación de todo el DNA mitocondrial necesario, el equipo de Gill analizó y comparó las muestras. Los resultados son espectaculares (tabla). El DNA mitocondrial del Príncipe Felipe, duque de Edimburgo, sobrino-nieto de la zarina Alejandra (fig. 3A), confirma la relación de parentesco con las tres niñas halladas en Ekaterimburgo y permite la identificación de la madre de éstas, la zarina Alejandra. Por otro lado, el grupo de Gill comparó el DNA mitocondrial del zar Nicolás II con el DNA mitocondrial de una sobrina-biznieta del propio zar y con el de un nieto de la cuarta generación de Louise de Hesse-Cassel, abuela materna del zar Nicolás II (fig. 3B). Los datos señalan que existe, tal y como preveía Gill, relación familiar entre el zar y sus parientes vivos, lo que confirma, además, que uno de los cuerpos hallados en 1991 pertenecía

DIFERENCIAS DEL DNA MITOCONDRIAL DE LOS 9 ESQUELETOS DE EKATERIMBURGO Y SUS PARIENTES ACTUALES

Origen de la muestra	Fragmento DNA secuenciado (pb)	Posiciones dentro de la región hipervariable (HVR) del DNA mitocondrial	
		HVR1	HVR2
		16111 16126 16169 16261 16264 16278 16293 16294 16296 16304 16311 16357	73 146 195 263 309.1 309.2 315.1
Secuencia de referencia de Anderson		C T C C C C A C C T T	A T T A * * *
Hija 1 del zar/zarina	755	T C	. . . G . . C
Hija 2 del zar/zarina	634	T C	. . – G . . C
Hija 3 del zar/zarina	760	T C	. . . G . . C
Zarina Alejandra	744	T C	. . . G . . C
Príncipe Felipe	760	T C	. . . G . . C
Zar Nicolás II	782	. C H . . . . T T . . .	G . . G . . C
Nieto de la 4ª generación de Luisa de Hesse-Cassel	781	. C T . . . . T T . . .	G . . G . . C
Sobrina-bisnieta del zar Nicolás II	782	. C T . . . . T T . . .	G . . G . . C
Sirviente 1	760	. . . . . C . .	– . . G C C C
Sirviente 2	742	. . . . . C .	. . . G . . C
Sirviente 3	650	. . . T . T G . . . C .	– . C G . . C
Dr. Botkin	736	. . . . T	. C . G C C C

• Mismas bases que la secuencia de referencia de Anderson; – Bases no asignadas; * Bases ausentes de la secuencia de referencia; H Heteroplasmia. *Fuente: Nature Genetics*

Tabla. La comparación del DNA mitocondrial de los nueve esqueletos hallados en Ekaterimburgo con los parientes actuales de la familia del zar Nicolás II arroja resultados espectaculares, tal y como se puede observar en la tabla adjunta. Los ADNs mitocondriales del Príncipe Felipe, de la zarina Alejandra y de tres de sus hijas muestran cuatro bases nitrogenadas diferentes respecto a la secuencia de referencia, pero iguales entre ellas. Esto significa —teniendo en cuenta que la secuencia pertenece a dos regiones hipervariables del DNA mitocondrial— que el Príncipe Felipe está emparentado con los restos óseos señalados, los cuales, en realidad, son los de la zarina Alejandra y tres de sus hijas. Por su parte, el DNA mitocondrial del zar Nicolás II, el del nieto de la cuarta generación de la abuela del zar y el de una sobrina-biznieta suya, denotan siete pares de bases iguales entre ellas pero diferentes a la secuencia de referencia. La conclusión de los investigadores anglorrusos es similar a la anterior: uno de los cuerpos hallados en Ekaterimburgo pertenecía al zar Nicolás II. Por último, la secuencia del DNA mitocondrial de los cuatro esqueletos restantes (tres sirvientes y el médico de cabecera) indica que no existe relación de parentesco ni entre ellos, ni con ninguno de los descendientes de la familia imperial rusa.

(1) P. Gill *et al.*, *Nature Genetics*, 6, 130, 1994.

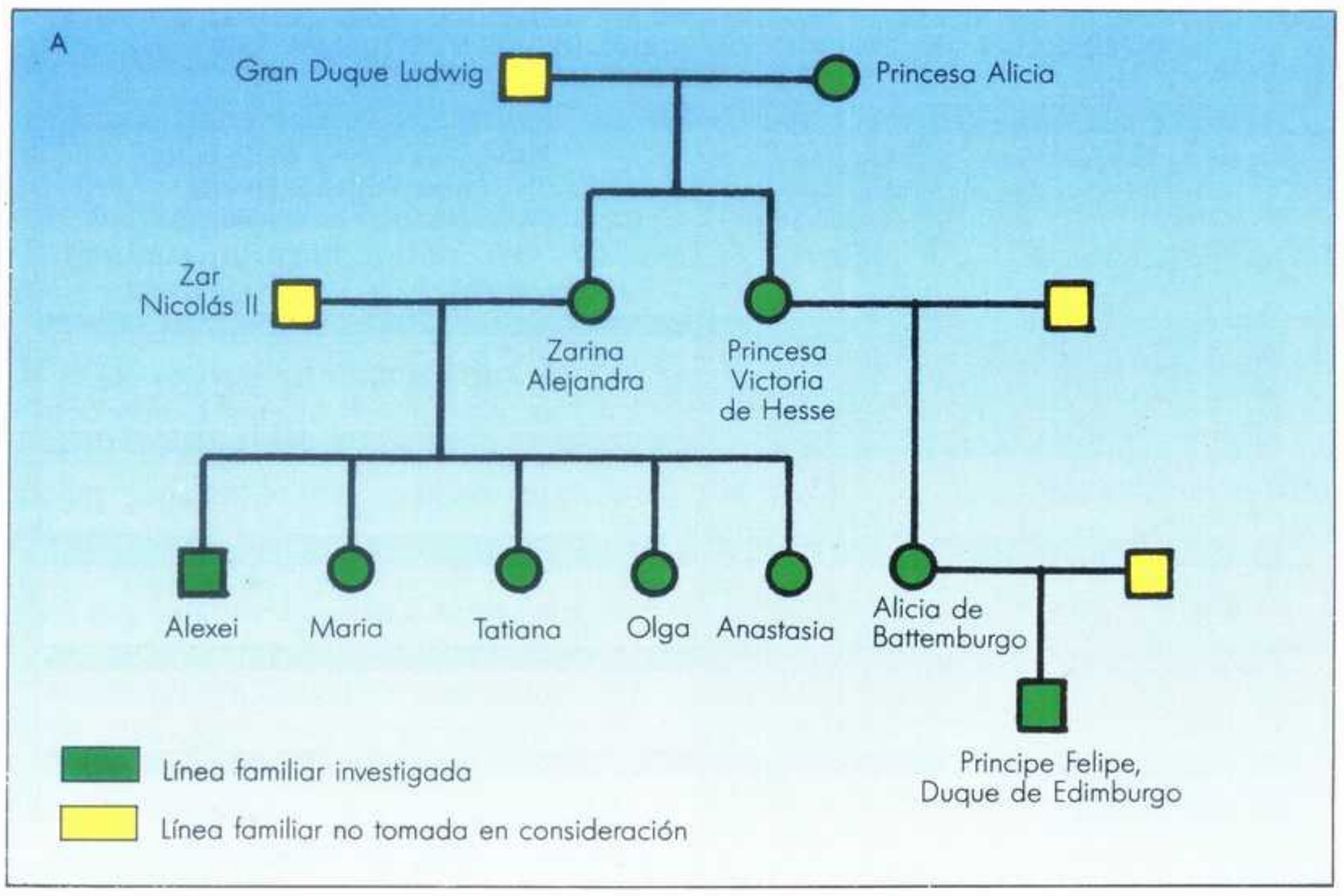
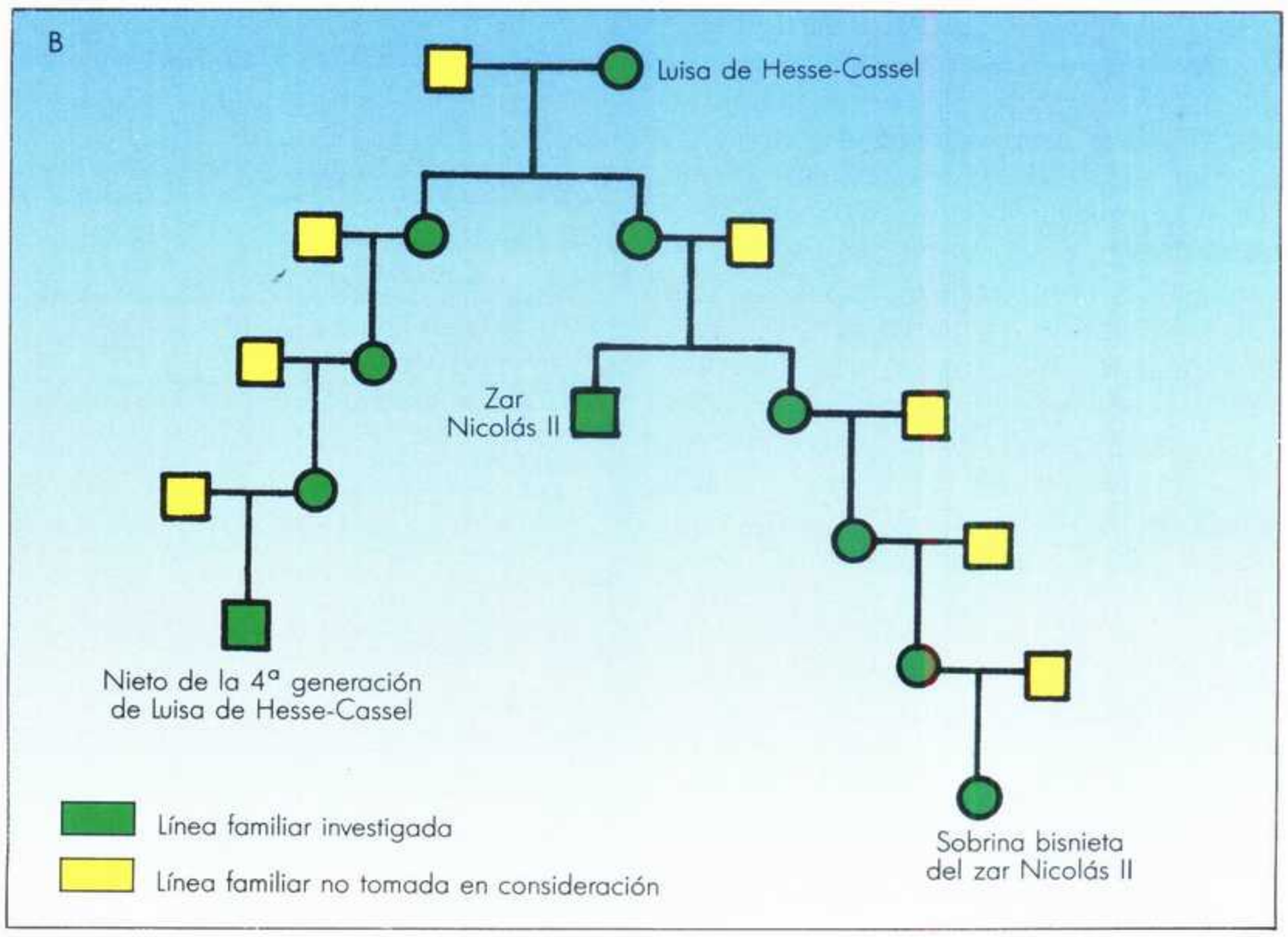


Figura 3. Con la finalidad de establecer parentescos entre los esqueletos hallados en Ekaterimburgo y los parientes actuales de la familia Romanov, lo científicos anglorrusos tuvieron en cuenta los árboles genealógicos de la familia imperial rusa. Según esto, tomaron muestras de sangre al Príncipe Felipe (fig. 3A), Duque de Edimburgo, que es nieto de la Princesa Victoria de Hesse, hermana de la zarina Alejandra. Con ello se confirmó la identidad de tres de las hijas del zar Nicolás II y la de su esposa, la zarina Alejandra. Por otro lado, con el fin de identificar los restos del zar Nicolás II (fig. 1B), el grupo de Gill tomó muestras de sangre de una sobrina bisnieta del propio zar y de un nieto de la cuarta generación de Luisa de Hesse-Cassel, abuela del zar. Los resultados fueron, igualmente, positivos. (Foto: Iñaki Fernández.)



realmente al zar Nicolás II. No obstante, los investigadores hallaron una excepción en un nucleótido situado en la posición 16 169 de la región HVRI del DNA mitocondrial del zar. Después de analizar con mayor profundidad esta secuencia, los científicos se apercibieron de que el zar presentaba heteroplasmia —presencia indistinta de dos pares de bases nitrogenadas en una determinada posición del DNA mitocondrial—. Lamentablemente, no es factible la obtención del DNA mitocondrial de la madre ni de la abuela del zar Nicolás II. Ello permitiría dilucidar la posible herencia de esta característica por parte del zar.

La resolución del «enigma Romanov» por métodos puramente científicos no es más que el último episodio de una larga serie de exitosas investigaciones, en las que la extracción y amplificación de DNA a partir de restos del pasado juega un papel fundamental a la hora de establecer parentescos. Esta útil herramienta genética, extraordinariamente versátil, permite también reconstruir migraciones poblacionales del pasado, tener conocimiento de las velocidades de evolución de especies ya extinguidas, estudiar enfermedades de origen infeccioso o hereditario, etc.

La incorporación del DNA antiguo a la larga historia de investigaciones científicas se remonta al año 1984. En aquel entonces, el grupo que dirigía Alan Wilson, de la universidad de California, en Berkeley, clonó con éxito DNA mitocondrial extraído del tejido epitelial del quagga, un équido intermedio entre un caballo y una cebra que se extinguió hace 111 años. La clonación de DNA mitocondrial de restos humanos llegó tan solo un año más tarde. El doctor Svante Pääbo, entonces en la universidad de Uppsala (Suecia), clonó una sección de DNA mitocondrial de 3,4 kilobases, a partir de la piel e hígado de una momia egipcia de 2 400 años de antigüedad.(2) En diciembre de 1989, un equipo científico integrado por Erika Hagelberg, Bryan Skyes y Robert Hedges consiguió, ¡por primera vez!, extraer y clonar DNA mitocondrial del hueso de un hombre que vivió hace 5 500 años. La importancia de este trabajo radica en la posibilidad de investigar en el futuro otros restos de mayor antigüedad, ya que son los huesos y los dientes los tejidos que más perduran en el tiempo.

Por lo antiguo de la datación, en 1990 tuvo gran eco científico la clonación por parte del genetista Edward Golenberg, actualmente en la universidad estatal de Wayne, del DNA de una hoja de magnolia que yacía en el lago fósil de Idaho (Estados Unidos), datada en 18 millones de años.(4)

Algunos investigadores consideraron poco creíble que el DNA pudiera mantenerse durante tanto tiempo de manera tan asombrosa. Golenberg comparó entonces un fragmento del DNA de la magnolia fósil con el de una magnolia actual. El resultado de su primera experiencia no se modificó; la datación era correcta.

El año siguiente tuvo lugar en Gran Bretaña un extraordinario acontecimiento científico-judicial. En los tribunales británicos se juzgaba un caso de asesinato. La víctima era una joven galesa cuyos restos fueron hallados en Cardiff, Gales, en 1989. Un primer estudio forense indicó que la joven había sido asesinada varios años atrás. El juez que instruía el caso encargó

la reconstrucción facial de la joven al artista médico Richard Neave, de la universidad de Manchester. Después de realizar un molde del cráneo con yeso, Neave comenzó a construir con gran meticulosidad los músculos de la cara. En poco tiempo el modelo estaba terminado.

PRIMERA PRUEBA JUDICIAL BASADA EN EL ANÁLISIS DEL DNA DE UNA VÍCTIMA ASESINADA DIEZ AÑOS ATRÁS

La policía distribuyó la fotografía del molde por las calles de Cardiff y tan solo dos días más tarde telefoneó un trabajador indicando que la muchacha podría ser Karen Price, desaparecida en julio de 1981. A pesar de que los datos dentales corroboraron la identificación, la última palabra la tuvo el trabajo realizado por Erika Hagelberg, Alec Jeffreys e Ian Gray. Estos tres investigadores extrajeron y amplificaron DNA del hueso de la víctima y lo compararon con el de los supuestos padres.(5) Los resultados fueron positivos —la joven era realmente Karen Price— y el juez los aceptó en el juicio. Ésta ha sido la primera vez que la justicia británica acepta como prueba un estudio basado en el DNA antiguo.

En 1992 se desveló otro de los casos forenses que durante varios años había mantenido en vilo a cientos de miles de personas. Los investigadores A. Jeffreys, M. Allen, E. Hagelberg y A. Sonnberg procedieron a analizar el DNA mitocondrial de los restos de un hombre que fue encontrado ahogado en una piscina de un pueblo brasileño, y que supuestamente pertenecían a Josef Mengele, el «Ángel de la muerte» del campo de concentración nazi de Auschwitz.(6) La mujer e hijo de Mengele accedieron a que se les tomaran las muestras necesarias para la investigación. La comparación de los materiales genéticos de los tres implicados dio la razón a los que pensaban que el hombre que murió ahogado en Brasil era, efectivamente, el «Ángel de la muerte».

Ahora bien, si todas estas investigaciones han finalizado felizmente, es gracias, sobre todo, a la utilización de una potente máquina de laboratorio conocida como PCR (reacción en cadena de la polimerasa). Esta técnica permite seleccionar y amplificar hasta un millón de veces una sola molécula de DNA. La doctora Erika Hagelberg, bióloga molecular de la universidad de Cambridge, señala que «*el PCR es perfecto para fragmentos muy pequeños de DNA o cuando éste está muy degradado. Además, sólo copia las moléculas de DNA que están en buen estado, desechando las dañadas*».

La amplificación de la DNA por medio del PCR se inicia con la elección de una pequeña muestra de la solución que contiene el DNA a estudiar. Este material hereditario, formado por una doble hélice, se desnaturaliza a una temperatura de 92 °C, de modo que se obtienen dos fragmentos de DNA unicatenarios. Se añaden dos cebadores, que son muy importantes, pues de ellos depende el fragmento de DNA que se va a amplificar. Hay que tener en cuenta

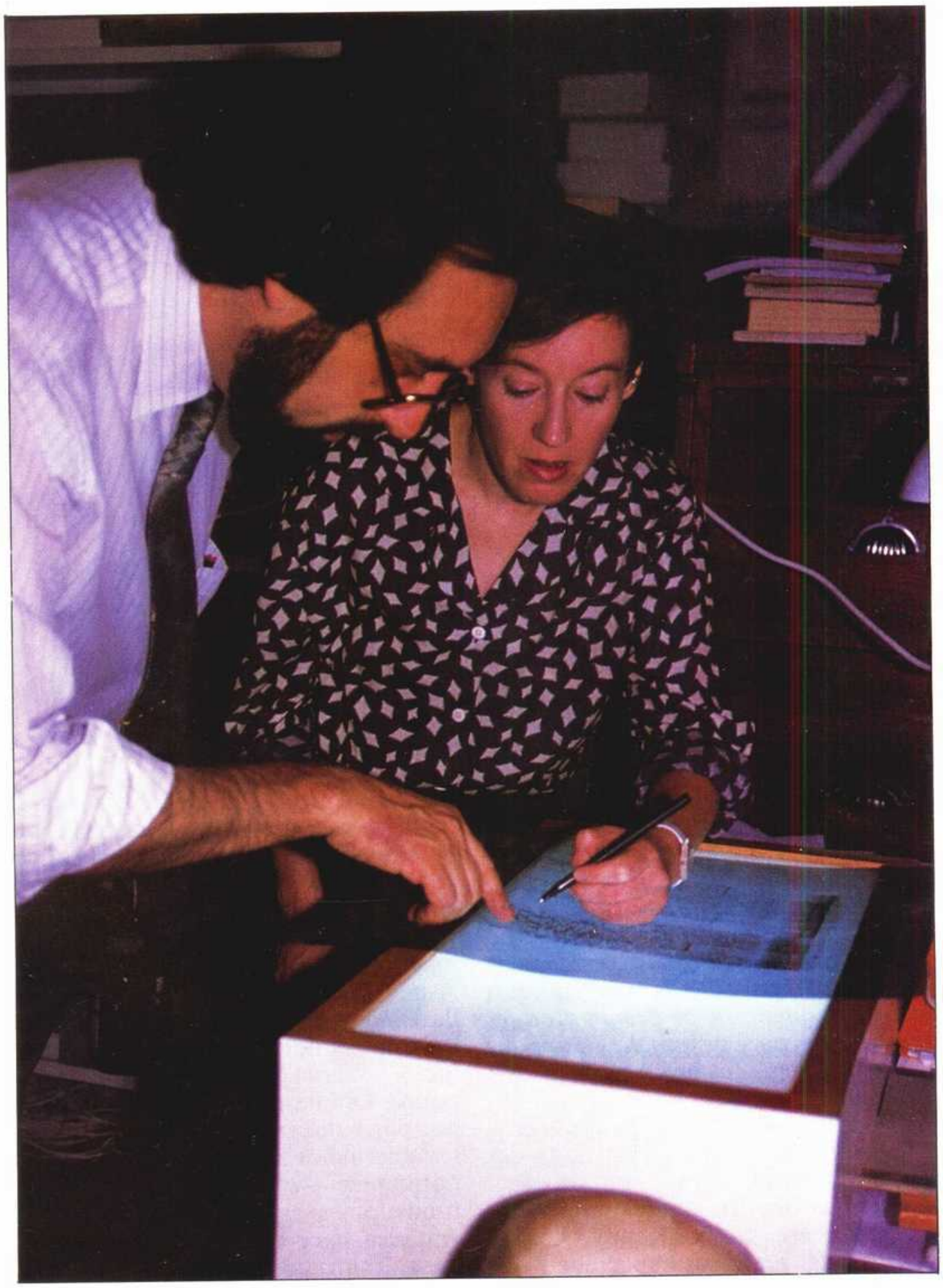


Figura 4. La doctora Erika Hagelberg, del departamento de antropología biológica de la universidad de Cambridge, es pionera en el desarrollo y utilización de una técnica que permite extraer DNA a partir de tejido óseo y dientes. Algunos casos forenses —el asesinato de una joven galesa, la identificación de Josef Mengele o de los miembros de la familia Romanov, etc.— han recibido la inestimable ayuda de los análisis de DNA obtenidos de tejido duro. A este respecto, la doctora Hagelberg considera que «las posibilidades de identificación son suficientemente buenas, de modo que la Justicia de cualquier país debería utilizar las evidencias que aporta el DNA antiguo como prueba judicial». La doctora Hagelberg ha estudiado, además, los procesos migratorios humanos del pasado en Polinesia e Isla de Pascua. Sus conclusiones señalan un origen melanésico para Polinesia, mientras que la primera población de la Isla de Pascua partió, curiosamente, de Polinesia. (Foto: Iñaki Fernández.)

que la temperatura durante esta fase debe ser de 55 °C; de lo contrario los cebadores no actuarán correctamente y la amplificación no dará resultado. A continuación,la temperatura se incrementa hasta 74 °C. Entonces se añade el enzima Taq-polimerasa, que duplica base a base el fragmento de DNA que falta. Al final se obtienen dos fragmentos de DNA a partir del original. El proceso se repite varias veces —30 o 40 veces es lo habitual— hasta obtener el número de copias que se precise. La amplificación del DNA mediante la PCR es exponencial, es decir, del primer fragmento se obtienen dos copias, de éstas, otras dos más —en total cuatro—, luego 8, 16, 32, 64, 128,... hasta un millón.

En la actualidad, la PCR parece tener una extraordinaria aceptación entre los científicos de todo el mundo, a juzgar por el elevado número de investigaciones genéticas que hacen uso de ella. Bien merecido tiene su descubridor, Kary Mullis (Cetus Corporation), el Premio Nobel de Química del pasado año. Sin embargo, los primeros pasos de la PCR fueron algo indecisos y hubo algún que otro tropezón. El investigador Bryan Skyes, de la universidad de Oxford, vio malhumorado cómo sus estudios ofrecían resultados contradictorios. Por un lado, comprobó que el DNA extraído del hueso de un cerdo hallado en el buque de guerra *Mary Rose*, de la flota del rey Enrique VIII, era, ciertamente, DNA porcino. Pero otra experiencia posterior determinó que el DNA del hueso de una vaca del Neolítico «era» DNA humano. La muestra se había contaminado. Y aún hay más, ya que otro trabajo en el que también se utilizó la PCR reveló DNA de cerdo, cuando en realidad se trataba del DNA de un hombre que vivió hace 600 años. Skyes se preguntó cuál podía ser la causa de la contaminación. La respuesta fue rápida y categórica: el laboratorio. Los errores cometidos hasta entonces provocaron una reacción instantánea en el grupo de Skyes. A partir de ese momento extremaron la «higiene» cuando había que manipular las muestras y el material de laboratorio. Además, adoptó otra medida preventiva, que consistió en realizar las extracciones de DNA en un laboratorio diferente y alejado del que poseía el PCR. «*Los laboratorios cuidadosos parecerán productivos, pero no por mucho tiempo*», advierte Skyes a los investigadores que no toman medidas.

A pesar de que la antropología forense está siendo la gran beneficiada del estudio del DNA antiguo, existen otras disciplinas científicas que también sacan provecho. Así, por ejemplo, los estudios paleogenéticos han ayudado en gran medida a reconstruir las migraciones y poblamientos humanos del pasado. En este sentido, fue el genetista Douglas Wallace, de la universidad de Emory, quien, después de plantearse la gran cuestión —¿quiénes fueron los primeros pobladores de América?— y teniendo en cuenta la falta de acuerdo entre antropólogos y arqueólogos al respecto, decidió ponerse manos a la obra. A mediados de los ochenta,[7] Wallace comenzó a analizar el DNA mitocondrial de 547 indios americanos, desde Alaska hasta la zona media de Suramérica. También tomó muestras de 404 individuos de la Unión Soviética. Así podría hacer las comparaciones oportunas, pues se cree que el poblamiento de América tuvo su origen en Asia. Los resultados del estudio de Wallace indican una variación genética del DNA mitocondrial muy superior en los indios americanos respecto a los siberianos. La interpretación de estos datos por parte del grupo de Wallace es que los amerindios descienden de un pequeño número —en total 4— de «madres fundadoras» asiáticas, que llegaron a América hace entre 42 000 y 21 000 años. El investigador de la universidad de Emory propone, además, una segunda oleada de inmigrantes asiáticos que se establecieron en Alaska y zonas limítrofes hace unos 12 500 a 6 000 años. Este segundo contingente humano proveniente de Asia sólo posee uno de los cuatro linajes indicados con anterioridad. El trabajo de Wallace se vio rápidamente apoyado por otras investigaciones cuya herramienta de trabajo fue el DNA antiguo. Así, Robert Ferrell y Andrew Merriwether, de la universidad de Pittsburg, después de analizar algunos restos momificados de hombres que vivieron en Chile hace entre 3 000 y 500 años, hallaron frecuencias altas de 2 de los 4 linajes propuestos por Wallace. Por otro lado, hace menos de un año, los investigadores Anne Stone y Mark Stoneking, del departamento de antropología de la universidad estatal de Pennsylvania, después de analizar el DNA mitocondrial de los restos óseos de 50 individuos pertenecientes a una población precolombina, indicaron que «*el estudio de la variación del DNA antiguo en una población precolombina apoya la hipótesis de que la colonización inicial del Nuevo Mundo comprendió tan solo a cuatro linajes de DNA mitocondrial*».[8]

Con todo, tal y como indican los estatutos científicos, la hipótesis de Wallace tiene los debidos —y muchas veces necesarios— opositores. Investigadores americanos capitaneados por Joseph Greenberg,[9] de la universidad de Stanford, proponen tres fases —en lugar de las dos de Wallace— para el poblamiento del Nuevo Mundo. La primera englobaría a los amerindios; mientras que los NaDene y los aleutianos y esquimales llegarían en dos fases distintas, más tarde.

El DNA de la momia de los hielos tirolesa

Un equipo científico capitaneado por Svante Pääbo e integrado por doce investigadores pertenecientes a varias universidades europeas ha analizado el DNA mitocondrial de la momia de los hielos del Tirol. La secuenciación de un fragmento situado en una región hipervariable de este material genético indica que los restos hallados en los Alpes pertenecían a un hombre europeo estrechamente relacionado con las poblaciones del centro y norte de Europa. De este modo, se desecha definitivamente la idea de que podría tratarse de un africano llegado hasta Centroeuropa, tal y como señalaban algunos investigadores. La momia de los hielos fue descubierta en setiembre de 1991, en los Alpes tiroleses. La datación por radiocarbono de huesos y piel de la momia determinó una antigüedad de unos 5 100-5 300 años. La repercusión de este hallazgo en la opinión pública internacional fue inmediata: hasta la fecha no se había descubierto, en tan buen estado de conservación, restos humanos acompañados de sus ropas y útiles. A lo largo de estos tres años han ido apareciendo diversas noticias y opiniones contradictorias sobre el origen, tipo de vida y costumbres del hombre de los hielos. El estudio dirigido por Pääbo esclarece la duda sobre el origen de la momia: se acepta como válido que ésta perteneció a una población centro o nordeuropea. No obstante, el citado trabajo genético no permite dilucidar cuáles eran sus costumbres y hábitos; eso es materia de otra disciplina. En cualquier caso, los investigadores consideran que un estudio más preciso del hombre de los hielos «puede ofrecer una perspectiva mucho más amplia de la diversidad genética entre las poblaciones europeas».

LOS ESTUDIOS DE DNA ANTIGUO NOS PERMITEN DESVELAR INCÓGNITAS DEL PASADO

En tierras emergidas en el Océano Pacífico se localizan dos de las grandes aportaciones de la utilización del DNA antiguo al estudio del proceso migratorio humano durante el pasado. Por un lado, el poblamiento de Polinesia. Algunos autores defienden la hipótesis de que los polinesios llegaron desde el sudeste asiático, desde donde se iniciaron las migraciones sin que apenas hubiera habido intercambio genético con los habitantes de Melanesia. Por el contrario, otros investigadores proponen un origen melanésico para los pobladores de las

islas de Polinesia. Según estos autores se produjeron «cuellos de botella» y movimientos migratorios de pequeños grupos de personas fundadoras de un linaje, que posteriormente dieron lugar a los actuales polinesios. La doctora Erika Hagelberg ha analizado el DNA antiguo de las diversas poblaciones implicadas y los resultados que ha obtenido apuestan claramente por la segunda hipótesis, es decir, la población de Polinesia proviene de las islas de Melanesia.

El otro punto de interés en el Pacífico es la Isla de Pascua, pequeña porción de tierra situada en pleno océano y distanciada algo más de 3 000 kilómetros de cualquier otra costa. Hoy en día la Isla de Pascua goza de un gran prestigio internacional por ser el destino de muchos turistas. Al misterio que rodea a la isla desde hace siglos, se unen las 555 estatuas que se levantan a lo largo y ancho de sus tierras. Los «moai» —nombre que reciben estas estatuas— tienen un peso promedio de 18 toneladas y una altura que va de los dos a los ocho metros. El aventurero, explorador y científico noruego Thor Heyerdahl propuso hace unos cuantos años una controvertida hipótesis, hasta ahora la más divulgada, sobre el origen de la población de la Isla de Pascua. Según ésta, la primera población que arribó a la citada isla partió de algún puerto suramericano, posiblemente localizado en Perú. Las razones que llevaron a Heyerdahl a sugerir esta hipótesis son de carácter lingüístico, biológico, histórico-arqueológico y de navegación. Con todo, el autor noruego siempre ha contado con la oposición de numerosos científicos, si bien ninguno daba pruebas concluyentes en su contra. Recientemente, ha aparecido un nuevo estudio científico, dirigido por Erika Hagelberg,(10) que ha permitido conocer la «opinión» del DNA antiguo. El trabajo ha consistido en observar la posición que ocupan algunos nucleótidos en la región D-loop del DNA mitocondrial y, por otro lado, en considerar el número de pares de bases que se encuentran en la región V del mismo material genético. Para ello se extrajo el DNA de 15 individuos, antiguos pobladores de la Isla de Pascua. Tras amplificarlo y secuenciarlo, se comparó con el DNA de otras poblaciones. La lectura de las doce muestras que pudieron ser secuenciadas reveló unos resultados que discrepaban completamente con la hipótesis planteada por Heyerdahl. Así, el DNA antiguo indica que la primera población de la Isla de Pascua no partió de Suramérica, sino que lo hizo de algún lugar de Polinesia.

Figura 5. Tras analizar el DNA de una población precolombina, Stone y Stoneking concluyeron que la colonización inicial de América comprendió sólo a cuatro linajes de DNA mitocondrial. A pesar de las evidencias aportadas por el DNA antiguo, algunos científicos no están de acuerdo con estas conclusiones. Proponen, como contrapartida, tres migraciones desde Asia. En la primera llegaron los actuales amerindios, mientras que los NaDene y los esquimales y aleutianos colonizaron América más tarde, en dos oleadas migratorias distintas. (Foto Iñaki Fernández.)

Aunque a un ritmo más lento, la medicina va a ser también una de las grandes beneficiadas de los estudios con DNA antiguo. En España, un equipo científico integrado por investigadores del departamento de biología animal (Universidad de Barcelona), del CSIC y del Hospital Durán i Reinals de Barcelona, lleva a cabo un estudio cuyo objetivo principal es detectar la enferme-

(2) S. Pääbo, *Nature, 314,* 644, 1985.
(3) E. Hagelberg *et al., Nature, 342,* 485, 1989.
(4) E. Golenberg, *Nature, 344,* 656,1990.
(5) E. Hagelberg *et al., Natrue, 352,* 427, 1991.
(6) A. Jeffreys *et al., Forensic Sciences International, 56,* 65, 1992.
(7) D. Wallace *et al., American Journal of Physical Anthropology, 68,* 149, 1985.
(8) A. Stone, M. Stoneking, *American Journal of Physical Anthropology,* 463, 1993.
(9) J. Greenberg *et al., Current Anthropology, 28,* 647, 1987.
(10) E. Hagelberg *et al., Nature, 369,* 25, 1994.
(11) S. Anderson *et al., Nature, 290,* 457, 1981.

dad genómica denominada fibrosis quística en poblaciones antiguas vascas. «*Ello podría ayudar, en gran medida, a comprender mejor la incidencia de esta grave enfermedad en la región vasca*», señala el doctor Daniel Turbón, paleoantropólogo de la Universidad de Barcelona. La población vasca presenta frecuencias muy elevadas de individuos portadores de la mutación DeltaF-508, una de las mutaciones que hace a esta enfermedad más grave. Se cree que dicha mutación tiene una antigüedad superior a los 10 000 años, de modo que rastrear el pasado genético de la población vasca puede ayudar a minimizar la virulencia actual de la fibrosis quística. El citado grupo científico español ha conseguido amplificar y secuenciar el DNA mitocondrial de tres mujeres vascas cuyos restos fueron hallados en el yacimiento medieval del Alto de la Ermita, en Amézaga (Álava). Las tres mujeres presentan, en el fragmento secuenciado, una variante en alguno de sus nucleótidos respecto a la secuencia de referencia de DNA mitocondrial de la población europea actual. Ésta es la primera vez que investigadores de nuestro país llevan a cabo un trabajo de estas características. No obstante, «*todavía es muy pronto para poder sacar conclusiones de los resultados, pues este tipo de variaciones es de esperar tratándose de la región hipervariable D-loop*», señala Daniel Turbón. En cualquier caso, el citado grupo científico dirige ahora su atención a zonas hipervariables del DNA nuclear, pues este material genético da mucha más información que el mitocondrial. La dificultad de estos experimentos estriba en que el DNA nuclear se conserva peor a lo largo del tiempo y su proporción en las células es de 1:400 a favor del mitocondrial.

Algunos biólogos evolucionistas también se han apuntado al «carro» del DNA antiguo. Alan Cooper, un biólogo molecular y taxonomista de la universidad de Victoria, en Nueva Zelanda, después de analizar el DNA del kiwi y del extinto moa (ave no voladora neozelandesa), ha comprobado que estas aves no se encuentran tan cercanas en el árbol filogenético como se pensaba hasta ahora. En definitiva, Cooper sugiere que el moa y el kiwi llegaron a tierras de Nueva Zelanda por vías independientes. Por otro lado, las técnicas de laboratorio que permiten extraer, amplificar y secuenciar DNA antiguo de especies ya extinguidas, también se utilizan para prever posibles problemas que pueden repercutir en otras especies que se encuentran hoy én día en serio peligro de extinción. Por último, ya en el campo de la botánica, muchos científicos estudian el DNA antiguo de vegetales del pasado con el propósito de establecer las correctas relaciones filogenéticas, hasta ahora amparadas básicamente en estudios morfológicos.

Hace tan sólo 10 años que comenzaron los estudios basados en el DNA antiguo. El número de artículos referentes a los avances que se producen en la disciplina paleogenética se incrementa día a día. Incluso existe una publicación, *Ancient DNA. Newsletter*, que trata de forma monográfica este tema. Los espectaculares resultados que se desprenden de las investigaciones que se han venido realizando a lo largo de estos últimos diez años auguran un próspero futuro a los científicos que trabajan en este campo. A buen seguro que muchas de las incógnitas científicas —y también aquéllas que no lo son, en el sentido estricto de la palabra— que todavía hoy en día permanecen sin respuesta podrán ser resueltas gracias al estudio del DNA antiguo. ■

PARA MÁS INFORMACIÓN:

- E. Hagelberg, «Ancient DNA Studies», *Evolutionary Anthropology*, vol. 2, 199, 1994.
- *Ancient DNA*, Herrmann & Hummel Eds. Springer-Verlag, 1993.
- *PCR Technology. Principles and Applications for DNA Amplification*. Henry A. Erlich Ed. W.H. Freeman and Company, 1992.
- M.J. McPherson *et al*, *PCR. A Practical Approach*, IRL Press, 1991.
- M.A. Innis *et al.*, *PCR Protocols. A Guide to Methods and Applications*, Academic Press Inc., 1990.

MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE *versión en castellano*

HA PUBLICADO ENTRE OTROS ARTICULOS

BIOLOGIA, MEDICINA

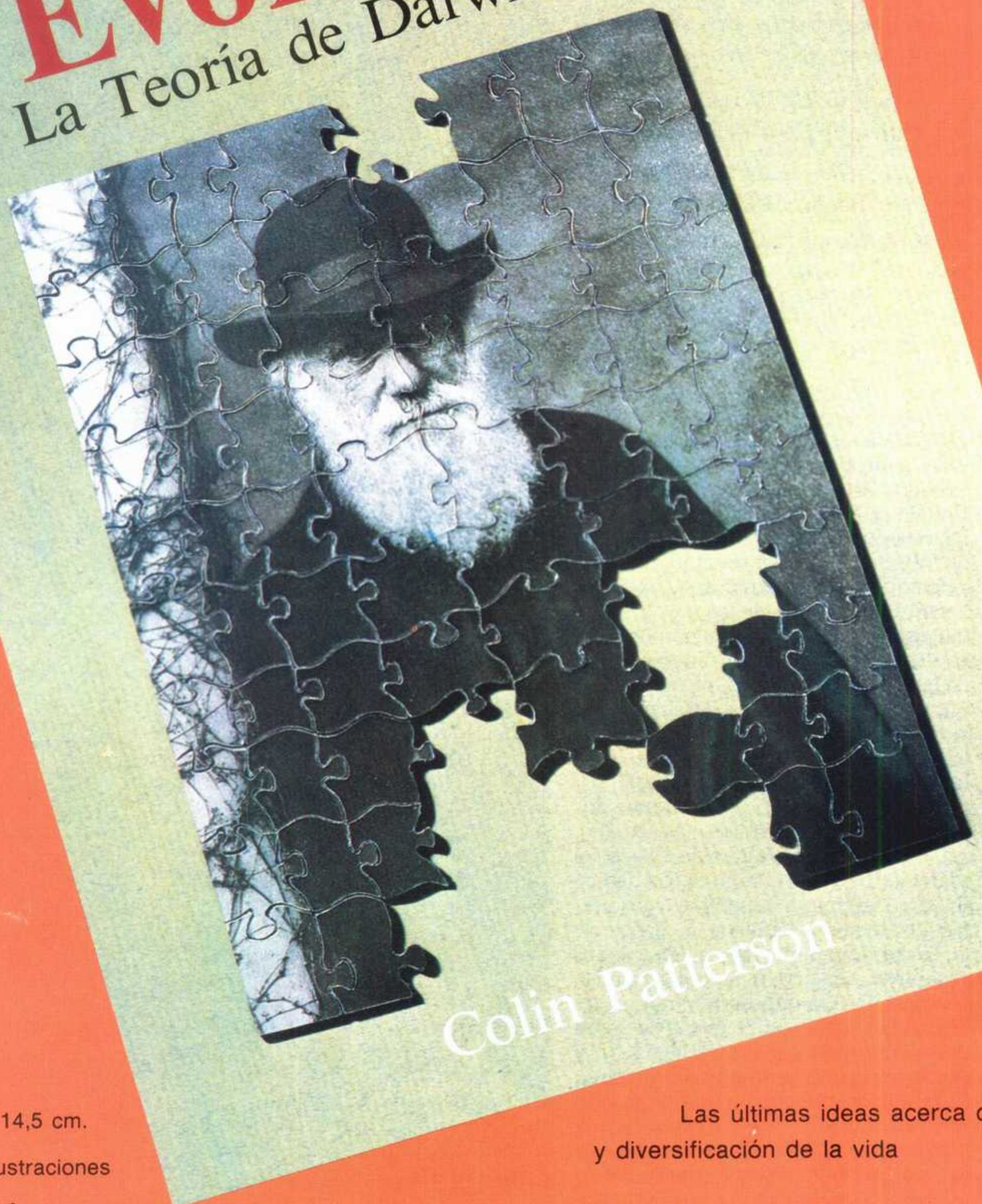
¿Son eficaces los medicamentos contra el SIDA? (Tastemain, C.) **72,** 844-846.
Bilharziosis: cuando los parásitos se equivocan (Cervelle-Zonca, N.) **72,** 884-887.
La genética de la enfermedad de Alzheimer (Lecocq, A.-L.) **72,** 912-913.
Los venenos de las serpientes (Menez, A.) **73,** 934-941.
El ADN, África y el hombre (Darlu, P.; Tassy, P.) **73,** 943-945.
Las estrategias alimentarias de los cazadores-recolectores (Speth, J.D.) **73,** 948-957.
La teoría celular en España (Gomis Blanco, A.) **73,** 972-979.
La lepra (Maurice, J.) **73,** 1020-1030.
La esclerosis en placas (Schuller, E.) **74,** 1088-1100.
La estructura de las proteínas de la membrana (Popot, J.-L.) **75,** 1196-1207.
Primeros pasos de una vacuna universal (Maurice, J.) **75,** 1237-1239.
Unas moléculas para la memoria (Chapouthier, G.) **75,** 1256-1258.
La visión de los disléxicos (Jourdain, J.-B.) **75,** 1260-1262.
El sabor del vino (Etiévant, P.; Issanchou, S.) **76,** 36-45.
La evitación del incesto en los primates (Deputte, B.) **76,** 54-64.
SIDA: inmunidad y vacunas (Plata, F.) **76,** 66-77.
Plaguicidas en los alimentos: un informe que hará época (Bugueerra, M.L.) **76,** 78-79.
¿Es superfluo el espermatozoide? (Barra, J.; Renard, J.-P.) **76,** 89-91.
La genética del cáncer de colon (Jourdain, J.-B.) **76,** 99-100.
El código postal de las proteínas mitocondriales (Durand, R.) **77,** 190-191.
La adaptación a la altitud (Richalet, J.-P.) **77,** 192-202.
La extraña producción del gusano parásito (Lambert, A.; le Brun, N.; Reanud, F.) **77,** 206-209.
Las mutilaciones sexuales de las mujeres (Erlich, M.) **78,** 236-244.
Los medicamentos antivíricos (Harnden, M.R.) **78,** 246-257.
El alcoholismo a la luz de la investigación (Charpak, Y.) **78,** 294-295.
¿Ahuyenta el ajo a los vampiros? (Allais, C.) **78,** 296-297.
La flexibilidad del empleo entre las hormigas (Corbara, B.; Fresneau, D.; Lachaud, J.-P.) **78,** 312-313.
Los cromosomas también se acuerdan (Tastemain, C.) **78,** 314-316.
Tratamiento de la esclerosis en placas: ¿una esperanza? (Maurice, J.) **78,** 322-323.
La piel de los anfibios proteje de los microbios (Lethuillier, A.) **78,** 336-337.
El locus-t del ratón (Gachelin, G.) **79,** 352-362.
Pastizales adehezados del área de El Pardo (Díaz Pineda, F.; Peco, B.) **79,** 386-395.
Las ventajas del aceite de oliva (Fricker, J.) **79,** 436-437.
La reproducción comunitaria en las aves (Koenig, W.D.) **80,** 470-478.
Las células T matadoras (Golstein, P.; Brunet, J.-F.; Denizot, F.) **80,** 494-502.
El corazón artificial en la actualidad (Loisance, D.) **80,** 530-535.
¿Para qué sirven las vitaminas? (Langley-Danysz, P.) **80,** 548-557.
Las moléculas HLA adquieren relieve (Abastado, J.-P.) **80,** 558-559.
Cerebro e inmunidad: la relación se confirma (Labouze, E.) **80,** 566-567.
El SIDA y África (Maurice, J.) **81,** 624-626.
Un nuevo concepto: las moléculas celadoras (Lantieri, M.-F.) **81,** 628-629.

colección Ciencias

EDITORIAL FONTALBA

Evolución

La Teoría de Darwin hoy.



Colin Patterson

Las últimas ideas acerca del origen y diversificación de la vida

Admirable, claro y conciso este libro trata de los principales aspectos del moderno pensamiento evolutivo.

Formato 21 × 14,5 cm.
Páginas 202
Fotografía e ilustraciones

P.V.P.: 1 312 ptas.

Editorial Fontalba, s.a.

Valencia 359, 6º 1ª
08009 Barcelona (España)
Tels. (93) 458 55 08

Ruego que se sirvan enviarme el libro EVOLUCIÓN.
precio 1.312 ptas; contrarrembolso

Nombre _____

Domicilio _____

Población _____ CP _____

Provincia _____

EL INFINITO

En todas las épocas, lo mismo para los filósofos de la Grecia antigua que para los matemáticos actuales, la cuestión de la naturaleza y la función del infinito ha planteado numerosas dificultades. ¿Tiene realidad el infinito, o es una mera «ficción útil para el cálculo», como pensaba Leibniz? Pese a que la teoría de conjuntos construida por Cantor en el siglo pasado ha permitido definir y cuantificar rigurosamente el infinito, todavía subsisten entre los matemáticos dos tendencias filosóficas: la que consiste en hacer un uso esencial del infinito y la que preferiría poder librarse de él.

HOURYA SINACEUR

«Desde siempre, la cuestión del infinito es la que más ha atormentado la *sensibilidad* de los hombres; la *idea* de infinito, la que más ha solicitado y fecundado su inteligencia; el *concepto* de infinito es el más necesitado de *dilucidación*.» Así se expresaba, en 1925, David Hilbert, uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos. Hoy en día, no se pueden considerar zanjadas todas las cuestiones, ni siquiera las puramente matemáticas, suscitadas por el infinito (fig. 1). Una de las principales características de este concepto es el hecho de haber atravesado toda la historia de las matemáticas, desde sus orígenes hasta los desarrollos más actuales.

En el siglo tercero antes de Cristo, el matemático griego Arquímedes dedicó un largo trabajo a contabilizar los granos de arena que llenan la superficie de la Tierra. Dado que la totalidad de los granos de arena era inagotable y que la enumeración era imposible, Arquímedes llegó a la conclusión de que la sucesión de los números enteros no tenía fin y podía ser prolongada hasta el infinito. El infinito se presentaba así por su lado aritmético, haciéndose patente al matemático deseoso de contar más allá de los números familiares. Este aspecto aritmético del infinito apareció tardíamente. El infinito, en efecto, se había manifestado muy pronto bajo otras formas. Los pitagóricos (siglo VI a.C.), Zenón de Elea (siglo V a.C.), Eudoxo de Cnido (principios del siglo IV a.C.) y Euclides, por no citar más que unos pocos nombres emblemáticos, ya lo habían experimentado. El infinito aparecía, por ejemplo, cuando se intentaba asignar un número a *cualquier* magnitud física o geométrica. Los pitagóricos, al tratar de determinar mediante un número (entero o racional) el cociente entre la longitud de la diagonal y la del lado, supuesto igual a 1, de un cuadrado, descubrieron que estas dos magnitudes eran inconmensurables (lo que, en términos modernos, equivale a afirmar que la raíz cuadrada de 2 es irracional). El infinito aparecía también al pensar que una magnitud continua es divisible hasta el infinito. Así ocurría en las paradojas, como la de la liebre y la tortuga, con las que Zenón pretendía demostrar que el movimiento es imposible: para alcanzar un punto, un móvil ha de recorrer primero la mitad de la distancia, pero antes la mitad de la mitad, y así sucesivamente dividiendo el camino hasta el infinito. Otra ilustración del infinito la dio Arquímedes al mostrar cómo medir un arco de parábola aproximándolo en infinitos pasos mediante arcos de parábola cada vez más pequeños.

Así, los matemáticos griegos tropezaban con el infinito al tratar de *contar sin fin*, de *medir* magnitudes, como la diagonal del cuadrado o el arco de parábola, y de *definir* las propiedades del continuo. Para Aristóteles, primer teórico del infinito y del continuo, el infinito era «lo que no se deja recorrer y carece de límite». Al carecer de límite, no puede ser «determinado» y no existe en sí mismo.

Figura 1. Desde el punto de vista matemático, el infinito suscita múltiples cuestiones. Por ejemplo: ¿puede ser un infinito mayor que otro? ¿Es finita o infinita una parte de un infinito? ¿Cómo comparar la infinidad de los puntos de una recta con la infinidad de los puntos de un plano? Al tratar de responder a estas preguntas, los científicos topaban a menudo con paradojas. Sólo a fines del siglo XIX, con la aparición de la teoría de conjuntos, se pudo precisar satisfactoriamente la noción de infinito. Pero no por ello quedó cerrado el debate sobre el papel que el infinito debe jugar en matemáticas.(Foto M. Gurfinkel.)

En efecto, si una cosa fuera infinita, habría que decir también que sus partes son infinitas. Pero entonces habría que reconocer que un infinito —el del todo— es mayor que otro —el de una de sus partes—.

Aparecen aquí los dos principios que impidieron a los griegos concebir un infinito en sí o, como dice Aristóteles, un infinito «en acto»: el axioma, enunciado por Euclides, de que el todo es mayor que cualquiera de sus partes, y la tesis de que no pueden existir infinitos mayores que otros. Por ello, la visión «positiva» de Arquímedes, según la cual la idea del infinito es geométricamente demostrable y está físicamente realizada en el número de granos de arena existentes en la Tierra, no resistió el análisis de Aristóteles, que concebía el infinito como una pura negación de lo finito.

Aristóteles admitía la necesidad de pensar el infinito, pero le negaba toda existencia física o matemática. Para él, el matemático tiene necesidad de considerar magnitudes mayores, o más pequeñas, que toda magnitud dada, pero no totalidades infinitas *en acto*, determinadas aunque no limitadas. El infinito matemático está indudablemente relacionado con la categoría de *cantidad*, pero sólo como infinito *potencial*, cantidad que puede volverse más grande o más pequeña sin que dicho devenir llegue a transformarse en ser. Esta victoria conceptual del infinito *potencial* sobre el infinito *actual* ha atravesado los siglos y ha llegado hasta nosotros pese al retroceso definitivo que sufrió en el siglo XIX con la teoría de los conjuntos infinitos elaborada por el alemán Georg Cantor (1829-1920).

No es posible hacer una lista exhaustiva de quienes, en la Antigüedad o en la Edad Media, discutieron o modificaron la concepción aristotélica, referencia universal de filósofos, teólogos y sabios: Epicuro, Papo, Proclo, Filopon, Al Kindi, Al Nayrizi, Thabit ibn Qurra, Avicena, etc.[1] Unos pensaban que el infinito no podía ser objeto de inteligencia o de medida; como decía el filósofo griego Proclo (412-485), el infinito no podía ser admitido por sí mismo, sino sólo «con vistas a lo finito». Otros, en cambio, eran infinitistas convencidos y aceptaban que un infinito pudiera ser mayor que otro: el conjunto de los números enteros positivos, por ejemplo, contenía muchos más elementos que el de los enteros pares. El sabio árabe Thabit ibn Qurra (836-901), que sostenía esto, observó también que el conjunto de los enteros pares y el de los enteros impares constituían un caso de igualdad de infinitos. Desde el punto de vista matemático, las cuestiones debatidas se reducían a las siguientes: ¿hay un solo in-

HOURYA SINACEUR es directora de investigación del CNRS, en el cual preside la sección 35 (Pensamiento filosófico-Ciencia de los textos-Creación artística, científica y técnica). Trabaja en el Instituto de historia y filosofía de las ciencias y de las técnicas (Universidad de París I).

finito o varios? ¿en caso de que haya varios, cómo distinguirlos y compararlos? ¿Cuándo es posible declarar iguales dos infinitos? ¿Es finita o infinita una parte de infinito? En todas estas cuestiones no dejaron de florecer las paradojas.

Dichas paradojas lastrarían durante mucho tiempo la matematización del infinito; por su parte, el tema de la infinitud divina introduciría, desde la Edad Media, la concepción teológica de un infinito *cualitativo* como modo de *ser* (en acto) de un Dios perfecto y omnipotente. La perfección del Ser supremo se oponía a la idea aristotélica de un infinito indeterminado y potencial. Pero el hecho de que esta perfección fuera cualitativa dobló la oposición tradicional cantidad/cualidad con una separación entre el infinito ontoteológico y el infinito matemático. Así, B. Spinoza (1632-1677) opuso todavía el «verdadero infinito», el de la sustancia indivisible, al «falso infinito», el infinito según el número, objeto imaginario.

EL INFINITO, ¿FICCIÓN O REALIDAD?

En lo que a las matemáticas se refiere, el nacimiento de la física galileana relanzó el interés por el tema. La necesidad de definir los conceptos de velocidad instantánea y de aceleración, así como de formular las leyes del movimiento y de generalizar el concepto de curva, desembocaron en la elaboración de los conceptos de función y de diferencial. El cálculo infinitesimal, la nueva «ciencia del infinito» inventada simultáneamente por Isaac Newton (1642-1727) y Wilhelm Gottfried Leibniz (1646-1716), introdujo los «elementos infinitesimales», o infinitésimos, que representan cantidades infinitamente pequeñas. Se distinguían allí distintos órdenes de infinito y se establecían las reglas que permitían compararlos entre sí y con lo finito: un infinitésimo sumado o restado a una cantidad finita es despreciable porque es «incomparablemente» más pequeño que ella; no se cambia el orden de un infinito añadiéndole una cantidad finita (por ejemplo x es del mismo orden que $x + 100$ cuando x tiende a infinito); un infinito de orden inferior es despreciable ante un infinito de orden superior (por ejemplo, x es despreciable ante x^2 cuando x tiende a infinito); asimismo, un infinitésimo es despreciable ante otro infinitésimo de orden inferior (por ejemplo, $1/x^2$ es despreciable ante $1/x$ cuando x tiende a infinito).

Una jerarquía *operatoria*, basada en la rapidez de crecimiento de las *funciones* que representan a los infinitos, permitió dar respuesta a algunas de las cuestiones planteadas más arriba. Pero no todas las dificultades estaban vencidas. Galileo había considerado la colección de los enteros positivos (1,2,3,...) y la de sus cuadrados (1,4,9,...). Constatando que todo entero tiene un cuadrado, y recíprocamente que todo cuadrado procede de un entero positivo, había llegado a la conclusión de que las relaciones de igualdad y desigualdad no son válidas en el infinito. Lebiniz, que había elaborado reglas de igualdad y desigualdad para el infinito, no podía aceptar esta conclusión. Su *Análisis de los Infinitos* mostraba precisamente «una nueva manera de sumar, restar, multiplicar, dividir y extraer raíces propia a las cantidades incomparables, es decir, a las que son infinitamente grandes o infinitamente pequeñas con respecto a otras».(2) Pero Leibniz no puso en tela

Figura 2. Bernardo Bolzano (1781-1848) hizo dar a la noción de infinito un paso importante hacia la modernidad. Este sabio checo de origen italiano pretendía situar el «verdadero» infinito no en Dios sino en el cálculo y la cantidad. Fue el primero en tratar de construir un concepto puramente matemático y un cálculo sistemático del infinito. No obstante, su construcción seguía demasiado de cerca los resultados válidos en el caso finito y no permitía caracterizar o comparar con precisión los infinitos. (Foto derechos reservado/Seuil.)

de juicio la validez del axioma euclídeo según el cual el todo es mayor que las partes; por el contrario, trató de demostrarlo. Se preguntó, pues, por la posibilidad de que la paradoja de Galileo se debiera a la consideración de estas colecciones como todos acabados.

Leibniz concebía lo infinitamente pequeño y lo infinitamente grande como meras cantidades auxiliares destinadas a facilitar cálculos cuyos resultados finales se expresaban en términos de cantidades finitas, pero que en sí mismos carecían de consistencia. En el fondo, se mantenía en la óptica, definida por Proclo a partir de Aristóteles, del infinito considerado sólo «con vistas a lo finito». Un infinitésimo era una cantidad «evanescente» que en ocasiones no era nada (comparada con una cantidad finita) y en ocasiones era algo (comparada con un infinitésimo de orden superior); un infinito era una cantidad asintótica que nunca alcanzaba el límite infinito hacia el que tendía. En el siglo XVII, estas cantidades evanescentes y asintóticas eran la nueva versión, forjada con la ayuda del concepto de función, de la concepción aristotélica de un infinito *en potencia*, nunca *en acto*. En tales condiciones, era difícil poner en pie de igualdad las cantidades finitas, a las que se concedía realidad tanto en el mundo como en las matemáticas, y las cantidades infinitas, a las que se negaba «realidad» matemática, ya que no les correspondía nada sustancial. Para Leibniz, estas últimas eran meras «ficciones» útiles para el cálculo, que abreviaban el razonamiento, análogas, por ejemplo, a $i = \sqrt{-1}$. «El cálculo infinitesimal es útil cuando se trata de aplicar las matemáticas a la física, pero no pretendo con él dar cuenta de la naturaleza de las cosas», escribió.(3)

Así pues, Leibniz, como matemático, concedía al infinito un estatuto que legitimaba su manejo sin que ello supusiera admitir la existencia del infinito *actual*. No obstante, como metafísico, Leibniz no vacilaba en reformar la noción de sustancia a fin de admitir el infinito en acto. Lo entero y acabado no necesariamente era finito, ni siquiera mero infinito potencial; también podía ser, y de hecho era siempre, infinito en acto. «Soy tan partidario del infinito actual, escribió Leibniz en una carta a Foucher, que en vez de admitir que la naturaleza lo aborrece, como se dice vulgarmente, considero que lo exhibe universalmente para mostrar mejor las perfecciones de su Autor». ¿Cómo conciliar esta audacia metafísica con la prudencia matemática? Por medio de distinciones conceptuales. Leibniz sostuvo que, incluso en el mundo físico, las partes no necesariamente existen en forma de elementos separados, como los famosos granos de arena evocados por Arquímedes: en un infinito en acto no hay partes en acto. Por otra parte, la división del continuo no implica su composición a partir de elementos atómicos. En último análisis, «no hay números infinitos, ni líneas u otras cantidades infinitas, si se las toma por verdaderos todos».(4) En suma, el infinito *en acto*

Figura 3. El matemático alemán Georg Cantor (1829-1920) fue el padre de la teoría de conjuntos (A). Esta teoría permitió definir y cuantificar el infinito de manera precisa y rigurosa, gracias sobre todo a la noción de cardinal transfinito. El cardinal de un conjunto indica el número de elementos que éste contiene y permite extender la noción de número a los conjuntos infinitos. Dicho con mayor rigor, dos conjuntos (finitos o infinitos) son equipotentes o tienen el mismo cardinal si existe una correspondencia biunívoca entre ellos. Por ejemplo, el conjunto de los números enteros positivos tiene el mismo cardinal que el conjunto de los enteros pares (B) o que el conjunto de los cuadrados enteros (C). En este sentido, dichos conjuntos tienen «el mismo número» de elementos, contrariamente a lo que parece desprenderse de la intuición. Asimismo, el conjunto de los números racionales es equipotente al conjunto de los enteros; en efecto, se pueden enumerar todos los enteros racionales, sin excepción, en el orden 1/1, 1/2, 2/1, 3/1, 1/3, 1/4, 2/3, etc. La sucesión así obtenida define una biyección entre el conjunto de los enteros positivos y el conjunto de los racionales positivos. Esta enumeración exhaustiva se representa en D (donde se omiten los racionales que se repiten). (Foto A: J.-L. Charmet.)

existe pero no es numerable. De ahí dedujo que las operaciones aritméticas se aplican sólo al infinito *potencial*. Pese a su metafísica infinitista, el Leibniz matemático, en definitiva, se mantuvo fiel a la tradición definida por Aristóteles.

La historia moderna del infinito matemático empieza con Bernardo Bolzano (1781-1848) (fig. 2). Bajo el título de *Las paradojas del infinito*,(5) este matemático checo de origen italiano, que también era físico, lógico, filósofo y teólogo, escribió una defensa e ilustración del infinito *actual* basada en la idea de que las supuestas paradojas que atravesaron los siglos desde Zenón de Elea no resistían un análisis consecuente. Su objetivo principal era situar el «verdadero» infinito en el campo del cálculo y de la cantidad y no en Dios, así como convertir el concepto matemático en el fundamento de sus homólogos físico y metafísico. A partir de entonces, la teología quedaba subordinada a la matemática del infinito *en acto*. Y en ésta prevalecía, por supuesto, el punto de vista cuantitativo. Para Bolzano, Dios es infinito porque le atribuimos unas capacidades de *magnitud* infinita. Bolzano, indudablemente, no era el primero en afimar la existencia positiva del infinito *actual*, ni el primero en darse cuenta de la posibilidad de que existieran varios infinitos desiguales, como tampoco el primero en vincular la igualdad entre dos infinitos a la posibilidad de establecer una correspondencia biunívoca entre sus elementos. Pero fue el primero en tratar de construir un concepto puramente matemático y un cálculo sistemático del infinito *actual*.

La construcción de Bolzano se basa en un paralelismo bastante estrecho entre lo finito y lo infinito. El estatuto lógico es el mismo: el infinito *actual* es tan poco contradictorio como los conceptos familiares de número entero o de fracción. El estatuto matemático también es el mismo: hay conjuntos infinitos *en acto* que nada impide lógicamente concebir como todos acabados. Así, el conjunto de los enteros, una recta infinita o un segmento comprenden una infinidad de elementos que conceptualmente están perfectamente determinados. No es necesario enumerar todos los elementos de un conjunto para concebir su existencia. Basta *caracterizar* el conjunto mediante una o varias propiedades: una relación de recurrencia simple define la sucesión de los enteros, dos puntos determinan un segmento o una recta, etc. También es el mismo, por último, el estatuto ontológico: tal como sostenía Leibniz, el infinito *actual* está realizado en todas las cosas existentes.

El cálculo, por su parte, se basa en las definiciones siguientes: un infinito es algo «mayor que un número cualquiera

(1) Para una breve exposición de la prehistoria antigua y la historia medieval del infinito, se podrá consultar la obra Tony Lévy, *Figures de l'infini*, Seuil, 1987.
(2) *Leibnizens mathematischen Schriften*, ed. Gerhardt, Berlín, 1849-1863; reimpr. Hildesheim, Olms, 1962, tomo V, p. 259.
(3) Carta a Masson, *Leibnizens philosophische Schriften*, ed. Gerhardt, Berlín, 1875-1890; reimpr. Hildesheim, Olms, 1965, tomo VI, pág. 629.
(4) W.G. Leibniz, *Nuevos ensayos sobre el entendimiento humano*, libro II, cap. XVII.

de unidades», es decir, mayor que n para todo entero positivo n; un infinitésimo es algo cuyo múltiplo por un entero n cualquiera es inferior a la unidad. Estas definiciones contradicen el axioma de Arquímedes según el cual dadas dos magnitudes desiguales existe siempre un múltiplo de la más pequeña superior a la mayor. Bolzano no discutió explícitamente este axioma, como tampoco refutó explícitamente el axioma bimilenario del todo y la parte considerando que los conjuntos infinitos están precisamente caracterizados por la posibilidad de ponerlos en correspondencia biunívoca con uno de sus subconjuntos. Lo que otros veían como una paradoja le parecía lo *propio* del infinito. No era de extrañar, pues, que no se pudiera poner en correspondencia biunívoca los puntos del lado de un cuadrado con los de su diagonal, o el conjunto de los números enteros con el de sus cuadrados. Desde el punto de vista del *conjunto* de sus elementos, lado del cuadrado y diagonal o sucesión de enteros o sucesión de cuadrados, representaban *el mismo infinito*. Pero Bolzano no sacó todas las consecuencias de esta observación. No definió, como lo hizo más tarde Cantor, la igualdad de dos infinitos por la posibilidad de encontrar una biyección de uno en otro, esto es, una correspondencia biunívoca entre los elementos de los conjuntos considerados.

Al tratar de establecer una aritmética del infinito, Bolzano, en efecto, cayó en la trampa de lo finito y definió la igualdad de dos conjuntos infinitos E y F por su identidad y su desigualdad por la inclusión estricta de uno en otro. Bolzano dio como ejemplo el conjunto de los puntos del segmento [0, 5] de la recta que, al estar contenido en el segmento [0, 12], es «más pequeño» que él. Pero, ¿qué ocurre si al mismo tiempo E es biyectivamente aplicable en F, como ocurre en este ejemplo al definir la aplicación $x \rightarrow 12x/5$? ¿Se mantendrá que E y F representan el mismo infinito? ¿O se volverá al axioma secular que sienta la desigualdad del todo y de la parte? ¿Y de qué sirve afirmar que hay una infinidad de infinitos si no se asignan *números* a todos ellos?

Como es sabido, el problema fue resuelto por Georg Cantor (fig. 3A) con la teoría de conjuntos, para la cual elaboró una aritmética específica. El acto decisivo consistió en afirmar que «después de lo finito, hay un *transfinito*, esto es, escala ilimitada de modos determinada que por naturaleza son infinitos y que, no obstante, pueden ser precisados, como en el caso finito, mediante números determinados, bien definidos y distinguibles unos de otros».[6] Era la primera vez en matemáticas que se hablaba de *números* infinitos. O al menos de números transfinitos, es decir, infinitamente grandes, puesto que Cantor no admitía la existencia de los infinitésimos y hubo que esperar al «análisis no estándar», en 1966, para reconocerlos, por fin, como entidades bien definidas (véase «Las aplicaciones del análisis no estándar», *Mundo Científico*, nº 89, marzo, 1989).

Cantor se vio llevado a elaborar la teoría de conjuntos al estudiar los puntos de discontinuidad de las funciones representables por series trigonométricas

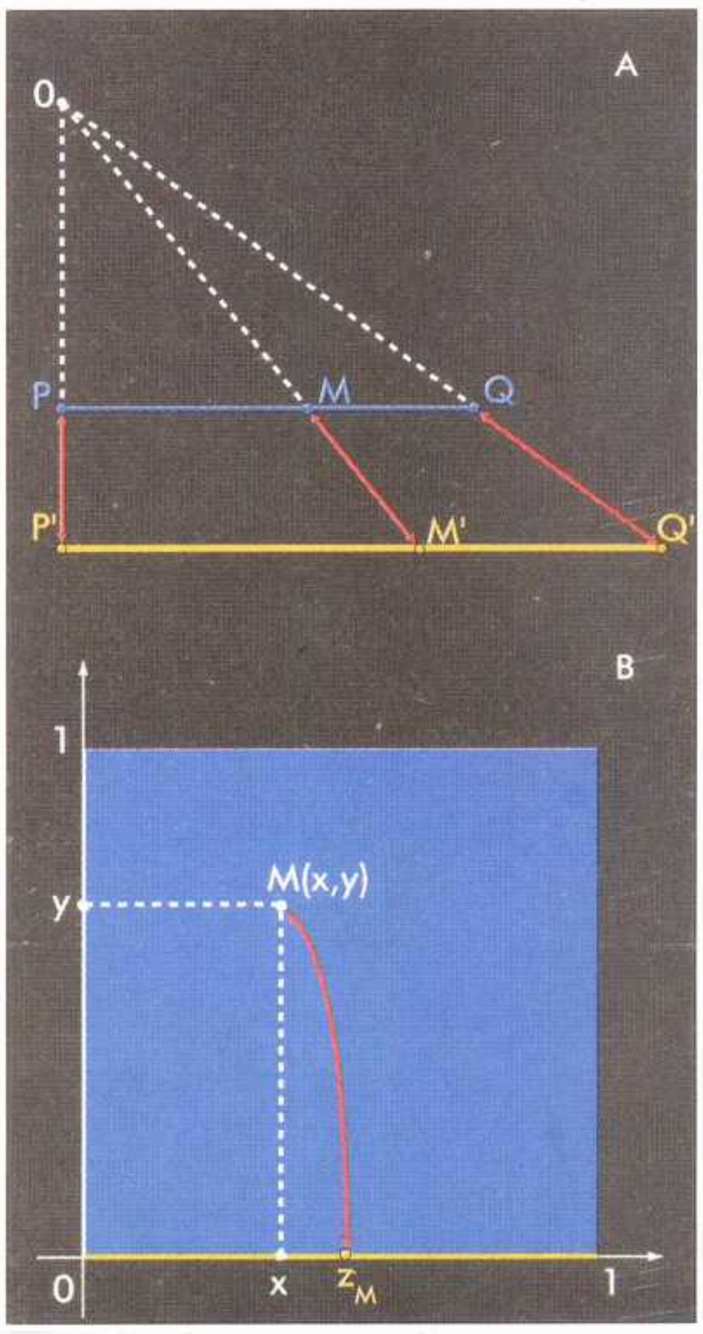


Figura 4. Dos segmentos PQ y P'Q' de distinta longitud tienen el mismo cardinal; en términos menos precisos, se puede decir que contienen «el mismo número» de puntos. En efecto, se puede hacer corresponder a cada punto M del primer segmento un punto y uno solo M' del segundo y recíprocamente. Una tal biyección se representa en A. Más sorprendente todavía es el hecho de que el conjunto de los puntos contenidos en un cuadrado tiene el mismo cardinal que el conjunto de los puntos de su lado. Efectivamente, se puede hacer corresponder a todo punto M del cuadrado de lado 1 un punto único del intervalo [0, 1]: dado M por sus coordenadas x e y, cuya representación decimal es $x = 0,x_1x_2x_3...$ e $y = 0,y_1y_2y_3...$, se puede asociar a M el punto del intervalo [0,1] cuya escritura decimal es $z = 0,x_1y_1x_2y_2x_3y_3...$ (si, por ejemplo, $x = 0,51$ e $y = 0,24$, entonces $z = 0,5214$). Inversamente, es posible escribir todo punto z del intervalo [0,1] de tal modo que le corresponda un par único (x,y), es decir, un punto único M del cuadrado. Por tanto, el cuadrado y su lado son equipotentes (B).

(sumas de una infinidad de términos de la forma $c_n \text{sen}nx + d_n \cos nx$). En el marco de estos estudios, introdujo la definición de los números reales como límites de sucesiones de números racionales y formuló el axioma de la correspondencia biyectiva entre los números reales y la recta del plano (estos conjuntos son, respectivamente, las representaciones numérica y geométrica del «continuo lineal»). En 1883, descubrió los «ordinales transfinitos» y propuso entonces de modo totalmente explícito una generalización al transfinito de la noción de número entero finito.

Cantor empezó por establecer una distinción clara entre número *cardinal* y número *ordinal*. La primera operación está vinculada a la operación de contar los elementos de un conjunto, que es indiferente al orden de éstos, y la segunda a la de enumerar, que establece un orden entre los elementos. Estas dos nociones se confunden en el caso finito: se enumeren como se enumeren los elementos de una colección finita, el último elemento enumerado, digamos que el n-ésimo, marca al mismo tiempo el número cardinal de la colección, n. Pero no ocurre lo mismo en el caso de las colecciones infinitas. Tomemos ejemplos simples. Sean los dos conjuntos $E = \{1,2,3,4,...\}$ y $F = \{2,3,4,... 1\}$, que contienen los mismos elementos ordenados de modo distinto. E y F tienen el mismo cardinal, pero ordinales diferentes. Por contra, los conjuntos finitos {1,2,3} y {3,1,2,} que tienen el mismo cardinal y cuyos elementos no están ordenados igual, tienen también el mismo ordinal. Lo que es idéntico en ellos no es el orden sino la *enumeración*: se empieza por un primero y se termina por un tercero, independientemente de los elementos que se hayan colocado como primero, segundo y tercero.

Precisemos en primer lugar la noción de cardinal transfinito, más simple porque prescinde de la estructura de orden de los conjuntos considerados. Cantor estableció que dos conjuntos infinitos tienen la misma *potencia*, o el mismo *cardinal*, si existe una biyección de uno en otro (figs. 3 y 4). Así ocurre con el conjunto de los enteros y el de sus cuadrados, con el conjunto de los números pares y el de los enteros, con el conjunto de los puntos de dos segmentos de recta cualesquiera, etc. Se dice que los conjuntos entre los que puede establecerse una aplicación biyectiva son «equipotentes». Esta definición conviene también para los conjuntos finitos, en cuyo caso la equipotencia coincide con la igualdad. Con ello se vencían por primera vez las dificultades que impedían el establecimiento de una aritmética transfinita, la principal de las cuales era que nadie antes de Cantor había trata-

do de generalizar al dominio transfinito la noción de número entero finito. La escala de los cardinales transfinitos comienza con el cardinal del conjunto **N** de los enteros naturales, que es *numerable*. Este cardinal se representa por $\aleph_0$ (el símbolo $\aleph$ —alef— es la primera letra del alfabeto hebreo). Otros muchos conjuntos infinitos son equipotentes a **N**. Por ejemplo, $\mathbf{Q}_+$, el conjunto de los números racionales positivos, tiene el mismo cardinal que **N**, ya que se pueden *enumerar* todos los racionales, sin excepción, en el orden 1/1, 1/2, 2/1, 3/1, 1/3, 1/4, 2/3, 3/2, 4/1, 5/1, 1/5, 1/6, 2/5, 3/4, 4/3, 5/2, 6/1, etc. (fig. 3D). La sucesión así obtenida define una biyección de **N** en $\mathbf{Q}_+$. Asimismo, Cantor demostró en 1874 que el conjunto de los números algebraicos, es decir, de los números reales que son raíces de un polinomio de coeficientes enteros, también es equipotente a **N**.

Por contra, demostró que el conjunto de los números reales **R** no es equipotente a **N**. Se dice que **R** tiene la potencia del continuo, representada por **c**. La demostración de que **R** tiene una potencia estrictamente superior a la de **N** se hace por el absurdo, recurriendo a un método inventado por Cantor, el famoso procedimiento de la diagonal (véase el recuadro). Cantor descubrió luego que existe una biyección entre el conjunto de los puntos de un cuadrado cuyo lado es el intervalo [0,1] y este mismo intervalo (fig. 4B). Este resultado le sorprendió tanto que escribió lo siguiente a Richard Dedekind (1831-1916), con el que matenía una correspondencia periódica: «Lo veo pero no me lo puedo creer». En 1891, Cantor, por el método diagonal, demostró que para todo conjunto infinito E, el conjunto de las partes de E tiene una potencia estrictamente superior a la de E. Dicho resultado es absolutamente fundamental: significa que no hay sólo dos cardinales transfinitos, el numerable $\aleph_0$ y el continuo **c**, sino una infinidad. Se obtiene pues, efectivamente, una generalización de los números cardinales finitos, aunque con reglas aritméticas que se apartan parcialmente de las que rigen para lo finito.[7] En efecto, definiendo la suma de los cardinales de dos conjuntos infinitos disjuntos E y F como del cardinal de la reunión de E y F, se obtiene, por ejemplo:

$\aleph_0 + n = \aleph_0 + \aleph_0 = \aleph_0 + \aleph_0 + ... + \aleph_0 + ... = \aleph_0$, y, para todo cardinal transfinito c, $c + n = c + \aleph_0 = c$. Análogamente, para la multiplicación, la biyección mencionada antes entre los puntos del cuadrado de lado 1 y los del segmento de longitud 1 se traduce en la operación $\mathbf{c} \bullet \mathbf{c} = \mathbf{c}$. No obstante, pese a estas diferencias, la asociatividad, la conmutatividad y la distributividad siguen siendo válidas para la suma y la multiplicación de cardinales transfinitos.

En este punto, surge un problema: ¿es posible comparar siempre dos cardinales cualesquiera? Dados dos conjuntos E y F, es posible que se logre demostrar la existencia de una biyección entre ambos, y que, por tanto, Card(E) = Card(F). También puede haberse demostrado que E es equipotente a una parte de F, en cuyo caso Card(E) $\leq$ Card(F), o que F es equipotente a una parte de E y que Card(F) $\leq$ Card(E). Pero para que la comparación fuera siempre posible, sería necesario excluir la eventualidad de un cuarto caso. Sólo entonces se podrían disponer todos los cardinales en una sucesión análoga a la de los números enteros 1, 2, 3,..., esto es, en un conjunto totalmente ordenado y *bien ordenado* por la relación «mayor que».

Henos aquí, pues, confrontados con la relación de orden. Un conjunto *ordenado* es un conjunto provisto de una relación de orden, representada por $\leq$. Se dice que dos conjuntos ordenados tienen el *mismo tipo de orden* si son *isomorfos*, es decir, si hay una biyección f de uno en otro que preserve el orden: $f(x) \leq f(y)$ cuando $x \leq y$. Por ejemplo, los conjuntos ordenados $A = \{1, 2, 3,...\}$ y $B = \{..., 3, 2, 1\}$ no tienen el mismo tipo de orden; no es posible hallar una biyección f que aplique A en B de tal modo que $f(1)$ sea el primer elemento de B, ya que B carece de primer elemento.

Se dice que un conjunto E está *bien ordenado*, si toda parte no vacía de E posee un menor elemento. Un conjunto finito está necesariamente bien ordenado. La sucesión infinita de los enteros naturales es un conjunto bien ordenado; lo mismo cabe decir de toda sucesión indexada por **N**. Los tipos de orden de los conjuntos bien ordenados constituyen los *números ordinales*. Notemos que hay tipos de orden que no son ordinales: por ejemplo, el tipo de orden de $B = \{... 3, 2, 1\}$ no es un ordinal porque B no está bien ordenado.

Cantor consideró obvio que había que dar prioridad a los conjuntos bien ordenados, ya que lo que trataba de hacer era reproducir la situación de los enteros naturales. Tenía razón, siempre que lograra demostrar que todo conjunto puede ser bien ordenado. Es lo que hizo en 1904 el matemático alemán Ernst Zermelo (1871-1953). Por medio de su teorema «de buen orden», se pueden transferir a los conjuntos infinitos algunas de las propiedades de los números finitos, especialmente la propiedad de inducción, en la que se basa el razonamiento por recurrencia.

Tal como acabamos de presentarlo, un ordinal caracteriza una clase de conjuntos bien ordenados isomorfos. Mediante un procedimiento usual en matemáticas, se puede también definir un ordinal como un representante particular de la clase que lo caracteriza. Se construyen los ordinales finitos sentando $0 = \Phi$ (el conjunto vacío), $1 = \{0\}$, $2 = \{0, 1\}$,..., $n + 1 = \{0, 1, 2,...,n\}$, y así sucesivamente. El primer ordinal transfinito es el ordinal límite $\{0, 1, 2, ...\}$, que Cantor simbolizó por ω y que corresponde a la sucesión de los números naturales. Repitiendo el procedimiento de construcción, se obtiene $\omega + 1 = \{0, 1, 2,...,\omega\}$, $\omega + 2 = \{0, 1, 2,...,\omega, \omega + 1\}$, etc.

Se establece así una jerarquía transfinita de números ordinales. Un conjunto bien ordenado cualquiera X tendrá por número ordinal uno de los ordinales 0, 1, 2, ...,ω, $\omega + 1$,..., el que tenga el mismo tipo de orden que él. Por ejemplo, el conjunto ordenado $F = \{2, 3, 4, ... 1\}$, tiene como ordinal $\omega + 1$, ya que estos dos conjuntos se enumeran de la misma manera (en particular, ambos tienen un último elemento). Dado que, como hemos visto más arriba, F tiene el mismo cardinal que el conjunto $E = \{1, 2, 3, 4, ...\}$, cuyo ordinal es ω, se deduce que a un mismo cardinal le corresponden varios ordinales.

Es tiempo ya de volver a la noción de cardinal. Hemos visto que intuitivamente un cardinal de un conjunto cuenta el número de sus elementos, pero es posi-

El método de la diagonal

Para demostrar que el conjunto de los números reales no es equipotente al conjunto de los enteros naturales, se considera el conjunto E de los números reales del intervalo [0,1]. Cada elemento e de E posee un desarrollo decimal; dicho desarrollo es único si se conviene en escribir, por ejemplo, 0,5239999... en vez de 0,524000... Razonemos por el absurdo. Si E fuera numerable, se podrían numerar todos sus elementos de la manera siguiente:

$e_1 = 0,a_{11}a_{12}\,a_{13}aa_{14}...$
$e_2 = 0,a_{21}a_{22}\,a_{23}a_{24}...$
$e_3 = 0,a_{31}a_{32}a_{33}a_{34}...$
$e_4 = 0,a_{41}a_{42}\,a_{43}a_{44}...$

donde cada a_{ij} es una de las cifras 0, 1, 2, ...9. Se comprueba fácilmente la posibilidad de construir un elemento de E que no figure en la numeración. Basta considerar el número decimal $b = 0, b_1b_2b_3...$, definido a partir de la diagonal de nuestra numeración por $b_i = 2$ si $a_{ii} = 1$ y $b_i = 1$ si $a_{ii} \neq 1$. Así construido, b difiere de e_i por su i-ésima cifra para todo i. En consecuencia, el número b no forma parte de la lista contrariamente a la hipótesis de partida, lo que demuestra que E no es numerable. Señalemos que mediante un razonamiento análogo Gödel demostró en 1931 sus famosos teoremas de incompletitud de la aritmética.

(5) B. Bolzano, *Les paradoxes de l'infini*, Seuil, 1993.
(6) Grundlagen einer allgemeinen Mannigfaltigkeitslehre — *Fundamentos de una teoría general de las multiplicidades*— (1883), § 5 en G. Cantor, *Abhandlungen mathematischen und philosophischen Inhalts*, Berlín, 1932, reimpr. Hildesheim, Olms (1966), p. 165.
(7) *Ibid.*, p. 280.
(8) *Ibid.*, § 13, 199.
(9) Se pueden encontrar diversos ejemplos en *Le labyrinthe du continu*, editado por H. Sinaceur y J.-M. Salanskis, Springer-Verlag, 1992, 4ª parte.

ble dar una definición más precisa: el cardinal de E es el más pequeño ordinal equipotente a E. Esta construcción rigurosa garantiza la posibilidad de ordenar todos los cardinales en una sucesión bien ordenada: $\aleph_0, \aleph_1, ..., \aleph_n, ..., \aleph_\omega, \aleph_{\omega+1}, ..., \aleph_{\omega.2}, \aleph_{\omega.2+1}, ...$

Cantor intentó averiguar si el cardinal **c** del continuo era el sucesor inmediato del cardinal de los conjuntos numerables, en otras palabras, si $\mathbf{c} = \aleph_1$.[8] La respuesta afirmativa a esta cuestión constituye la famosa «hipótesis del continuo», que Cantor formuló por primera vez en 1878 y que trató en vano de demostrar hasta el fin de sus días. Hilbert la inscribió a modo de problema abierto en el encabezamiento de su famosa lista propuesta al Congreso internacional de matemáticos de 1900 (véase «David Hilbert y las matemáticas del siglo XX», *Mundo Científico*, nº 140, noviembre, 1993). La respuesta vendría en dos tiempos. En 1938, el austriaco Kurt Gödel (1906-1978) demostró la compatibilidad de esta hipótesis con los axiomas habituales de la teoría de conjuntos, llamados de Zermelo-Fraenkel. Más tarde, en 1963, el norteamericano Paul Cohen demostró su independencia con respecto a dichos axiomas. La conjunción de ambos resultados significa que la hipótesis del continuo es *indecidible* en la axiomática de Zermelo-Fraenkel: no es posible demostrarla ni refutarla sobre la base exclusiva de dichos axiomas.

Con los trabajos de Cantor, la disputa del infinito renació en un momento en que parecía ya sin objeto. Desde sus inicios, la teoría de los números transfinitos suscitó grandes resistencias. Su adversario más encarnizado era el alemán Leopold Kronecker (1823-1891), que trató de impedir la publicación de los primeros artículos de Cantor, aquéllos en que demuestra que el conjunto de los números reales no es numerable y que el conjunto de los puntos de un cuadrado es equipotente al conjunto de los puntos de su lado. Pero Dedekind hizo valer su influencia en favor de Cantor. Más tarde, Hilbert defendió encarnizadamente el «paraíso» de la creación cantoriana, que consideraba como «el producto más puro del ingenio matemático». Pero las paradojas descubiertas en la teoría de conjuntos, la primera de ellas por el propio Cantor, sacudían el edificio. Los matemáticos se dividieron en dos bandos: el de los cantorianos que, como Hilbert, hicieron todo lo posible para que «nadie nos expulse del paraíso», y el de los demás que, como Kronecker, Henri Poincaré y, más tarde, Brouwer y Hermann Weyl, se mantuvieron fieles, como antaño Aristóteles, al infinito potencial y numerable sin saltar a las abstracciones de lo transfinito. Estos últimos consideraban que sólo los números enteros son objeto de una intuición indiscutible, ya que vienen dados por una *sucesión* de longitud no acotada y no como un *conjunto* o totalidad acabada. Tuvieron lugar ásperas discusiones a propósito de un equivalente del teorema de buen orden, el llamado «axioma de elección». Este axioma, enunciado por Zermelo en 1904, estipula que, para *toda* familia, aunque sea infinita, de conjuntos no vacíos, existe una función (no especificada) que a cada conjunto le asocia uno de sus elementos, permitiendo construir así un nuevo conjunto no vacío. El asunto era importante, pues no tardó en quedar claro que muchos resultados (por ejemplo, el que afirma que todo espacio vectorial tiene una base), pertenecientes a otras ramas de las matemáticas, no pueden ser rigurosamente demostrados sin dicho axioma. La historia del axioma de elección es paralela a la de la hipótesis del continuo. Gödel demostró en 1938 su compatibilidad con los demás axiomas de la teoría de conjuntos, eliminando definitivamente el temor de que su utilización pudiera llevar a contradicciones. Cohen demostró además su independencia, lo cual permitió concluir que se trataba de una proposición indecidible, adjuntable a voluntad a los demás axiomas de la teoría de conjuntos.

Los resultados de indecidibilidad acabaron con las controversias al demostrar la legitimidad lógica de opciones contradictorias. No es de extrañar, pues, que desde fines del siglo pasado, florezcan unas matemáticas conjuntistas cada vez más abstractas (topología general, teoría de la integración, análisis funcional, análisis no estándar, etc.), que no vacilan en recurrir al axioma de elección o a sus equivalentes, junto con matemáticas constructivas, que exploran la potencia de los métodos restringidos a lo finito y a lo numerable.

Hay que reconocer que la utilización cada vez menos auxiliar y cada vez más sistemática de los ordenadores impulsa a los matemáticos a buscar réplicas algorítmicas de las disciplinas tradicionales del infinito y del continuo (geometría, análisis y topología), directamente adaptadas a la confirmación finita y discreta de la herramienta tecnológica. De ahí el desarrollo actual de las llamadas «matemáticas finitistas», basadas en los enteros finitos. En ellas, se considera que las únicas entidades efectivamente dadas y los únicos procesos efectivamente ejecutables son finitos. Por otra parte, se intenta delimitar los medios (construcciones, reglas, etc.) que, *a partir de procesos sobre entidades finitas*, dan acceso a las nociones que implican el infinito.

Es curioso constatar que el análisis no estándar, el cual, en sus orígenes, tenía una orientación decididamente infinitista y *actualista* para hacer aceptar la idea de una extensión del conjunto de los números reales mediante *elementos* infinitos, se vuelve actualmente hacia las técnicas finitistas. Varios trabajos recientes permiten indroducir un modelo finitista de los números reales y del continuo.[9]

Las matemáticas finitistas llevan a plantear la necesidad *teórica* de asumir *toda* la escala de los cardinales transfinitos de Cantor. Esta cuestión, ya planteada por el francés Emile Borel (1871-1956), ha sido estudiada actualmente por el lógico norteamericano Solomon Feferman, de la universidad Stanford. La respuesta es que, para las matemáticas *útiles* (aplicables al mundo físico), no hay ninguna obligación *lógica* de aceptar el infinito *actual*. A partir de las ideas expuestas por H. Weyl en su monografía *Das Kontinuum* (1918), Feferman demuestra que es posible limitarse a lo infinito numerable en todos los problemas planteados por las aplicaciones del análisis clásico o del análisis funcional moderno. ¿Hay que renunciar por completo, pues, a la noción de número real? No, ya que muchos resultados matemáticos, considerados en toda su generalidad, hacen un uso *esencial* de lo transfinito.

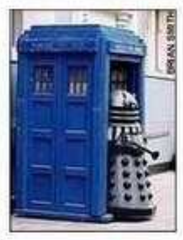
Así pues, la dualidad finito/infinito sigue trazando en las matemáticas una línea divisoria que los matemáticos redefinen constantemente sin llegar a abolirla. Es relativamente sencillo reconocer la validez de un resultado a partir de hipótesis admitidas, pero lo es mucho menos ponerse de acuerdo acerca de las hipótesis que hay que admitir. Como escribía Henri Lebesgue, «los matemáticos nunca han estado totalmente de acuerdo sobre el conjunto de su ciencia, que supuestamente es la de las verdades evidentes, absolutas, indiscutibles, definitivas». ■

PARA MÁS INFORMACIÓN:

- Artículos «Cantor» y «Dedekind», del *Dictionnaire des philosophes*, nueva edición, PUF, 1994.
- Artículo «Infinito» de la *Enciclopaedia Universalis*.
- M. Blay, *Les raisons de l'infini*, Gallimard, 1993.
- F. Burbage y N. Chouchan, *Leibniz et l'infini*, PUF, 1993.
- G. Cantor, *Abhandlungen matematischen und philosophischen Inhalts*, Berlín, 1932; reimpr. Hildesheim, Olms, 1966.
- Cantor-Dedekind, Correspondencia, en J. Cavaillès, *OEuvres complètes de philosophie des sciences*, Hermann, 1994.
- J. Cohn, *Histoire de l'infini*, trad. francesa, Le Cerf, 1994.
- J. Dauben, *Georg Cantor. His mathemtatics and philosophy of the infinite*, Cambridge, 1979.
- S. Feferman, «Infinity in mathematics: is Cantor necessary?», *L'infinito nella scienza*, Instituto della Enciclopedia Italiana, 1987, p. 151-210.
- L. Schwartz, *Analyse I (théorie des ensembles et topologie)*, Hermann, 1991.
- H. Sinaceur y J.-M. Salanskis (eds.), *Le labyrinthe du continu*, Springer-Verlag, 1992.

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

EL UNIVERSO MATERIAL

La materialidad del universo observable queda fuera de toda duda en nuestro actual estado de conocimiento. Sin embargo, una atenta mirada a la historia revela que descubrirlo no fue tarea fácil. Las primeras observaciones telescópicas de principios de siglo XVII revelaron unos astros sustanciales y corpóreos; y los primeros análisis radiotelescópicos de la segunda mitad de este siglo nos han confirmado que el medio interestelar también es material. Superándose así antiguos dogmas que han perdurado demasiado tiempo, como el de un universo etéreo.

ARTURO ARNAU

Figura 1. Detalle de la nebulosa del Velo, o lazo del Cisne (NGC 6995 o IC 1340). Corresponde al remanente de la explosión de una antigua supernova, producto de lo que un día fue una estrella de gran masa. Imagen en color real obtenida con el telescopio «Isaac Newton», de 2,5 m, del Observatorio del Roque de los Muchachos (Isla de la Palma). © Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Royal Greenwich Observatory (RGO).

Figura 2. Nebulosa CED 214. Constituye una gran región de formación de estrellas en la que se observan abundantes zonas oscuras, ricas en polvo interestelar. Imagen en color real obtenida con el telescopio «Isaac Newton», de 2,5 m, del Observatorio del Roque de los Muchachos (Isla de la Palma). © Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Royal Greenwich Observatory (RGO). ▶

Llevamos muchos siglos mirando hacia arriba en las noches estrelladas, contemplando el firmamento y preguntándonos sobre su origen, su evolución a lo largo del tiempo o sobre su naturaleza. Unas cuestiones que se encuentran entre las más difíciles que el ser humano se ha formulado a lo largo del tiempo. El cosmos posee una edad de unos 15 000 millones de años, por lo que algunos de los fenómenos a los que pretendemos dar explicación nos quedan muy lejos en el tiempo, y dadas las dimensiones del universo observable, también nos quedan lejos en el espacio.

De todas las preguntas sobre el firmamento que nos hemos formulado a lo largo de nuestra historia, pocas han levantado tantas controversias y han originado tantos y tan encarnizados debates como cuando nos hemos cuestionado la naturaleza del mismo. Conocer si el universo es un solo mundo material o si está formado por dos mundos de diferente naturaleza ha constituido un objetivo constante en los modelos cosmológicos que han venido elaborándose hasta hace muy poco, y también ha tenido claras repercusiones tanto en la filosofía como en la religión, como lo muestran estas palabras de Alberto Magno (1193-1280): «*¿Existen muchos mundos o existe un único mundo? Ésta es una de las más nobles y elevadas cuestiones planteadas en el estudio de la Naturaleza*».

Antes de la invención del telescopio todos los modelos cosmológicos «oficiales» negaron la materialidad del firmamento. Cuando, hace casi 400 años, Galileo apuntó por primera vez su telescopio hacia los astros observó en la superficie de la Luna montañas y valles semejantes a los de la Tierra, desde entonces empezamos a creer en unos astros materiales. Sin embargo, aún quedaba otra materialidad por desvelar. La oscuridad del espacio que queda entre las estrellas nos ha ocultado durante mucho más tiempo su naturaleza. Hemos tenido que esperar hasta principios de nuestro siglo para tener pruebas que nos permitiesen sospechar de la materialidad del espacio interestelar, y desde hace sólo unas décadas tenemos pruebas concluyentes de ello.

Hoy ya tenemos una respuesta a la pregunta de Alberto Magno, aunque ésta seguramente es contraria a la esperada de la formación escolástica del Doctor Universalis, todo el universo observable es un solo mundo material, una misma entidad corpórea, tan sustancial como la tierra que nos alimenta, como el aire que respiramos o como nosotros mismos. Llegar a esta respuesta nos ha llevado mucho tiempo.

Uno de los primeros en defender la existencia de un solo mundo material fue Anaxágoras, hace ya unos 2 500 años. Cuenta el historiador griego Diógenes Laercio[1] (siglo III d.C.) que una vez alguien preguntó a Anaxágoras cuál era el sentido de su vida, a lo que el filósofo respondió: «*yo he nacido para contemplar el sol, la luna y el cielo*». Su contestación se corresponde con lo que fue la vida del sabio griego, quien se dedicó intensamente al estudio de los cielos. Anaxágoras intuyó la similitud —que hoy llamaríamos física— entre el cielo y la Tierra, lo que le acarreó serios disgustos.

Era originario de Clazomenas, Jonia, donde nació hacia el 500 a.C. Además de perseverante y genial, fue un hombre magnánimo que poseyendo importantes riquezas cedió a los suyos todo su patrimonio, algo nada común ni entonces ni ahora... Siendo todavía joven viajó a Atenas, donde enseñó durante 30 años, y llegó a ser maestro del propio Pericles, gobernante de la democracia ateniense. Por aquella época, Atenas disfrutaba de una grandiosa efervescencia cultural; la Acrópolis estaba siendo cubierta de espléndidos monumentos (como el Partenón), destacaban las esculturas del genial Fidias, y el teatro alcanzaba su cenit con las obras de Esquilo y Sófocles. Anaxágoras llevó a Atenas el rigor científico de

Tales de Mileto (640-546 a.C., aprox.), igual que lo había llevado Pitágoras hacia la actual Italia dos generaciones antes.

En el año 467 a.C. cayó sobre Egos-Pótamos, cerca de la histórica ciudad de Troya, un enorme meteorito y Anaxágoras, tal vez por el aspecto flameante que presenta un aerolito al atravesar la atmósfera, manifestó que procedía del Sol, por lo que éste debía de ser una gigantesca masa incandescente a la que el filósofo asignó un tamaño ¡superior al Peloponeso!...[2,3] Ésta parece ser la razón de que el dramaturgo Eurípides, amigo del filósofo, en su tragedia Faetón llame al Sol masa de fuego. Pero Anaxágoras aún iba más lejos, para él las estrellas y los planetas también eran cuerpos físicos sólidos, rocas incandescentes —constituidas por el elemento fuego— que se hacían visibles durante la noche.[4] Pensaba que todos los astros del firmamento se habían generado mediante los mismos tipos de procesos que rigen en la Tierra, a partir de un universo caótico.

Pero Anaxágoras, quien además de afirmar que la Luna brilla con luz reflejada y explicar adecuadamente sus fases y eclipses, fue juzgado por sus ideas,[5] los atenienses de entonces no estaban preparados para aceptar la corporeidad de los astros, sus creencias religiosas les llevaban a considerar a los

A. ARNAU
es doctor en ciencias químicas y catedrático de física y química del Instituto de bachillerato Fuente San Luis de Valencia. Alterna la docencia con la investigación del medio interestelar. Sobre este tema tiene publicado un libro, así como artículos en revistas, tanto de investigación formal como de divulgación científica.

cuerpos celestes como entidades divinas, y por tanto exentas de materialidad. Fue necesaria la intercesión del mismísimo Pericles para que Anaxágoras sobreviviese al proceso, pero a partir de entonces Atenas ya no era cómoda para el filósofo y éste se exilió a Lámpsaco, en la costa noroccidental de la actual Turquía. Anaxágoras es el primer caso en la historia en que un filósofo es sentado en el banquillo de los acusados por defender sus teorías. Luego vinieron muchos más...

Uno no puede dejar de cuestionarse cuál sería nuestro estado actual de desarrollo científico si la filosofía naturalista jonia (desde Tales hasta Demócrito y Anaxágoras), más próxima a la ciencia moderna que la filosofía moral de Platón, hubiese llenado el tremendo hueco naturalista que se vivió desde el despertar jonio hasta el Renacimiento italiano; aunque seguramente la Europa medieval no estaba preparada para asimilar las revolucionarias ideas de aquella pléyade de pensadores.

Consecuencia directa de abandonar las ideas de aquellos filósofos que flirteaban con la idea de una materialidad de los cielos, las filosofías griega y medieval, así como la propia ciencia hasta hace muy poco, se hundieron en la concepción errónea de un universo platónico, de un firmamento «mágico».

Las raíces de la idea de un cielo formado por una esencia que lo impregna todo y que explica la formación del propio universo son al menos tan antiguas como los testimonios escritos más tempranos. La sentencia del *Poema sobre la naturaleza* del romano Lucrecio «nada puede ser creado de la nada», se corresponde con la concepción del universo que tenían algunos de los pensadores más antiguos. Sin embargo, evitar el uso de la nada requiere encontrarle un sustituto, pero ¿cuál podía ser éste?

Mitos procedentes de culturas tan antiguas como las de Babilonia, Egipto, India o China hacen alusión a la existencia de una sustancia eterna a partir de la cual se formaron todas las cosas. Es natural que cada civilización creyese encontrar a la sustancia primigenia en alguno de aquellos elementos esenciales para sus vidas. Así, como las civilizaciones florecieron allí donde existía agua abundante —Mesopotamia entre el Tigris y el Eúfrates, Egipto a lo largo del Nilo, etc.— no es sorprendente que el agua jugase un papel fundamental en los mitos de la creación y fuese considerada la sustancia universal primigenia. Además, el agua no tiene sabor, ni olor, ni color, y toma la forma de aquello que la contiene. También el agua es cambiante —puede existir en sus tres estados (sólido, líquido y gas) en condiciones naturales— y ubicua —en todos los seres vivos, en la tierra y en el aire—. Testimonio del papel protagonista del agua en las primeras cosmogonías es la siguiente cita de los Vedas Sánscritos (segundo milenio a.C.):

«*Lo que no es no existía entonces, ni lo que es / No existía el aire, ni el cielo que está sobre él / ¿Qué permanecía oculto? ¿Dónde? ¿Bajo la protección de quién? / ¿Había en la profundidad aguas impenetrables? / Sin signos diferenciadores, todo esto era agua.*»
(Himno de la Creación, el Veda Rig.)

En el mismo Génesis, sin ir más lejos, encontramos una historia de la creación protagonizada por el agua: «*En el principio Dios creó el cielo y la tierra. La tierra era soledad y caos, y las tinieblas cubrían la faz del abismo; pero el espíritu de Dios se cernía sobre la superficie de las aguas... Entonces Dios dijo: «haya un firmamento en medio de las aguas, que separe la una de las otras», y fue así. E hizo Dios el firmamento, y separó las aguas que estaban debajo del firmamento de las que estaban sobre él; y así se hizo. Y llamó Dios al firmamento cielo...*».

Los griegos también utilizaron mitos de la creación similares a los de Egipto y Mesopotamia, como el del río *Okeanos* que según Homero circunvala la Tierra. Aunque, afortunadamente, a partir del siglo VI a.C. los griegos comenzaron a sustituir los mitos por la razón, con ello nacía la filosofía y prendía fuego la llama de nuestra cultura actual. No obstante, el agua siguió constituyendo un elemento esencial a lo largo de la filosofía naturalista griega, en la que aparecía de nuevo como «principio» subyacente. Así, el primero de los filósofos milesios, Tales (siglos VII-VI a.C.), intentó construir una cosmología racional en la que el agua tenía el papel de sustancia fundamental de la que surgía todo. Según Aristóteles,(6) Tales declaró: «*el principio es el agua, quizás se llega a esta creencia al observar que la comida es húmeda y que el calor mismo es generado a partir de la humedad y se mantiene vivo por ella... y porque las semillas tienen una naturaleza húmeda, y el agua es el principio de la naturaleza de las cosas húmedas*».

Sin embargo, defender que el principio de las cosas es el agua choca con la lógica de la razón, como fue evidenciado por Anaximandro (611-547 a.C.), un alumno destacado de Tales. Para Anaximandro la materia seca se diferencia de la húmeda por la ausencia de agua, ¿cómo puede ser explicada la naturaleza de los cuerpos secos si carecen del elemento primordial? Anaximandro defendió que la sustancia primordial no debe poseer las propiedades características de ser caliente o seca, ni fría o húmeda; en lugar del agua se dice que Anaximandro propuso como sustancia primordial un «algo» misterioso, «indefinido» e «ilimitado» (el *apeiron*) que: «*no es ni agua ni cualquier otro de los llamados elementos, sino algo diferente, de naturaleza ilimitada, del cual todos los cielos surgen y los mundos contenidos en ellos*».(7)

Esta idea mística de lo «indefinido» como sustancia misteriosa que impregna el universo constituirá con el paso de los siglos uno de los paradigmas de la filosofía, e incluso de la propia ciencia, que más ha perdurado en el tiempo. Anaximandro también tuvo un papel destacado en el establecimiento de otro precedente astronómico importante, con él la noción de esfera invadió la astronomía. Para Anaximandro el firmamento gira alrededor de la estrella polar, por lo que dibujó el cielo como una esfera completa y no como el arco semiesférico que cualquiera puede observar por las noches; la esfera albergaría las estrellas, y en el exterior quedarían la Luna y el Sol. En el universo de Anaximandro las dimensiones de las esferas celestes guardan relaciones fijas, una concepción que apuntaba hacia el pitagorismo. La idea de las esferas celestes culminará más tarde en la obra monumental de Tolomeo (siglo II), un modelo celeste que constituyó el principal paradigma astronómico durante más de dos mil años, hasta que Copérnico (1473-1543) lo puso en evidencia.

Después de Anaximandro, los filósofos continuaron en la búsqueda de una sustancia primigenia, pero prefirieron buscarla entre las sustancias más familiares y tangibles, abandonando la mística de aquél. Anaxímenes (¿550?-480 a.C.) eligió el aire (o *pneuma*), aparentemente tan abundante como el agua y al que creía poseedor del germen de toda creación y por tanto de naturaleza divina.

Pero si Tales eligió el agua y Anaxímenes el aire, ¿por qué no elegir otras sustancias tan familiares e importantes en la vida del hombre como el fuego, la tierra u otras? Heráclito (576-480 a.C.) había adoptado el fuego, y Jenófanes (siglo VI a.C.) la tierra. A Empédocles (siglo V a.C.) correspondió la tarea de fundir las teorías de los cuatro elementos en una sola, con lo que agua, tierra, aire y fuego fueron considerados como las sustancias fundamentales de la creación. Los elementos de Empédocles daban «movimiento» a un universo que se mantiene en un «ciclo cósmico» en el que es dominado alterna-

tivamente por los principios de Amor y Odio. Un universo dinámico y eterno, dos propiedades del mismo que se han prodigado en muchas teorías cosmológicas desde entonces.

La autoridad filosófica de Aristóteles (384-322 a.C.) impuso una concepción del firmamento propia, basada en la existencia de una sustancia misteriosa y divina, el éter. La filosofía de Aristóteles fue fundamentalmente naturalista aunque en su concepción del universo está influida por el idealismo propio de Pitágoras y de Platón. Aristóteles cree en la existencia de dos mundos radicalmente diferentes: de una parte el mundo terrestre, con cuatro esferas sublunares correspondientes a cada uno de los elementos —así explica Aristóteles el movimiento «natural» rectilíneo de los cuerpos—, y de otra parte el mundo celestial, en el que los astros se mueven.

En la filosofía de Aristóteles se rechaza la idea del vacío,[8] concepto que habían defendido los antiguos atomistas para explicar el movimiento de los átomos. Desde la antigüedad, determinadas experiencias parecían conducir a la negación del vacío. Así, cuando se veía al agua ascender en las bombas al elevarse el pistón, se decía que éste, en su ascensión, tendía a hacer un vacío en los tubos de la bomba, pero que la naturaleza, que tenía miedo del vacío (*horror vacui*), se encargaba de hacer subir el agua para llenarlos.

Aristóteles concibe un firmamento perfecto, de formas esféricas y movimientos circulares uniformes, y para evitar el concepto de vacío[9] cree en unos cielos constituidos por una sustancia inmaterial, liviana y sutil que llenaría las esferas celestes, un quinto elemento —o quintaesencia, como literalmente la denominaron en la Edad Media— al que llamó éter. «*La sustancia del cielo constituye un quinto elemento, diferente de los cuatro que componen el mundo sublunar.*»[10] / «*...existe de forma natural alguna otra sustancia corporal fuera y además de los constituyentes corporales que existen aquí, esta sustancia es más divina que todas las que aquí existen y anterior a ellas ... ...en posesión de una naturaleza tanto más digna cuanto más lejos se encuentre de los cuerpos de aquí abajo.*»[10] / «*...es lógico concebir este elemento como ingenerable e incorruptible, inepto para experimentar un aumento o una disminución, e igualmente inepto para estar sujeto a cambio alguno...*»[11] / «*...dado que el primer cuerpo es algo diferente de la tierra y el fuego, el aire y el agua, llamaron éter antiguamente al lugar supremo, tomando el nombre del siempre correr en un tiempo eterno. Anaxágoras, no obstante, usa mal de este nombre: habla del éter en lugar del fuego...*».[11]

La consolidación del cristianismo a lo largo de los primeros siglos de nuestra era constituyó un factor de primera magnitud en los antiguos modelos cosmológicos. Los primeros cristianos necesitaban un sistema filosófico sobre el que apoyar su fe. San Agustín (354-430) fue el encargado de armonizar las ideas cristianas con la filosofía griega, concretamente con la obra de Platón. La visión platónica de unos cielos perfectos encajaba claramente en las ideas cristianas que también diferenciaban nítidamente entre dos mundos: el terrestre —un mundo material en el que el hombre vive su imperfección— y el celeste —un mundo sutil y divino en el que los astros se mueven elegantemente con movimientos circulares—. El

Figura 3. Nebulosa de la Burbuja (NGC 7635). Una gigantesca burbuja de gas ha sido producida por el viento de una estrella muy caliente. Imagen en color real obtenida con el telescopio «Isaac Newton», de 2,5 m, del Observatorio del Roque de los Muchachos (Isla de la Palma). © Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Royal Greenwich Observatory (RGO).

(1) Diógenes Laercio, *Vida y opiniones de los filósofos*, II.4.
(2) Aecio, II, 21, 3.
(3) Hipólito, Refut., I, 8, 8.
(4) Hipólito, ibid I, 8.
(5) Diógenes Laercio, *Vida y opiniones de los filósofos*, II.6 y II.7.
(6) Aristóteles, *Metafísica*.
(7) Simplicio, «Física».
(8) Aristóteles, «Física» IV, 6, 9.
(9) Wartofsky, M. W., *Introducción a la filosofía de la ciencia*, Alianza Editorial, Madrid, p. 539, 1979.
(10) Aristóteles, *Do caelo*, 268b.
(11) Aristóteles, ibid., 270a, 270b.

Tabla

FÓRMULA	NOMBRE	AÑO DE DESCUBRIMIENTO	PARTE DEL ESPECTRO
De dos átomos			
CH	metiladina	1937	visible
CN	cianógeno	1940	visible
CH^+	ion metiladina	1941	visible
OH	hidroxilo	1963	radio (18 cm)
CO	monóxido de carbono	1970	radio (2,6 mm)
H_2	hidrógeno molecular	1970	ultravioleta
CS	monosulfuro de carbono	1971	radio (2,0 mm)
SiO	monóxido de silicio	1971	radio (2,3 mm)
SO	monóxido de azufre	1973	radio (3 mm)
NS	sulfuro de nitrógeno	1975	radio (2,6 mm)
SiS	monosulfuro de silicio	1975	radio (2,8 mm)
C_2	carbono diatómico	1977	infrarojo
NO	óxido nítrico	1978	radio (2 mm)
HCl	cloruro de hidrógeno	1985	infrarrojo
De tres átomos			
H_2O	agua	1968	radio (1,4 cm)
HCO^+	ion formilo	1970	radio (3,4 mm)
HCN	cianuro de hidrógeno	1970	radio (3,4 mm)
HNC	isocianuro de hidrógeno	1971	radio (3,3 mm)
OCS	sulfuro de carbonilo	1971	radio (2,7 mm)
H_2S	sulfuro de hidrógeno	1972	radio (1,8 mm)
C_2H	radical etinilo	1974	radio (3,4 mm)
N_2H^+	ion diacenilo	1974	radio (3,2 mm)
HCO	radical formilo	1975	radio (3,5 mm)
SO_2	dióxido de azufre	1975	radio (3,6 mm)
HCS^+	ion tioformilo	1980	radio (3 mm)
SiC_2	silciclopropino	1984	radio (1-3 mm)
De cuatro átomos			
NH_3	amoniaco	1968	radio (1,3 cm)
H_2CO	formaldehido	1969	radio (6,2 cm)
HNCO	ácido isociánico	1971	radio (3,4 mm)
H_2CS	tioformaldehido	1971	radio (9,5 cm)
C_2H_2	acetileno	1976	infrarrojo
C_3N	radical cianoetinilo	1976	radio (3,4 mm)
HNCS	ácido isotiociánico	1979	radio (3 mm)
$HOCO^+$	dióxido de carbono protonado	1980	radio (3 mm)
$HCNH^+$	cianuro de hidrógeno protonado	1984	radio (2-3 mm)
C_3H	radical proponilo	1984	radio (3 mm)
C_3O	monóxido de tricarbono	1984	radio (1,7 cm)
$HCNH_2^+$	cianuro de hidrógeno diprotonado	1985	radio (4 mm)
De cinco átomos			
HCOOH	ácido fórmico	1970	radio (18 cm)
HC_3N	cianoacetileno	1970	radio (3,3 cm)
CH_2NH	metanimina	1972	radio (5,7 cm)
NH_2CN	cianamida	1975	radio (3,7 mm)
CH_2CO	metilencarbonilo	1976	radio (2,9 mm)
C_4H	radical Butadiinilo	1978	radio (2,6 mm)
SiH_4	silano	1984	infrarrojo
C_3H_2	radical ciclopropenilideno	1985	radio (2 cm)
De seis átomos			
CH_3OH	alcohol metílico	1970	radio (36 cm)
CH_3CN	metilcianuro	1971	radio (2,7 mm)
NH_2CHO	formamida	1971	radio (6,5 cm)
CH_3SH	metilmercaptano	1979	radio (3,0 mm)
De siete átomos			
CH_3C_2H	metilacetileno	1971	radio (3,5 mm)
CH_3CHO	acetaldehido	1971	radio (28 cm)
CH_3NH_2	metilamina	1974	radio (3,5 mm)
CH_2CHCN	vinilcianuro	1975	radio (22 cm)
HC_5N	cianodiacetileno	1976	radio (3 cm)
De ocho átomos			
$HCOOCH_3$	formiato de metilo	1975	radio (18 cm)
CH_3C_3N	metilcianoacetileno	1983	radio (1,5 cm)
De nueve átomos			
CH_3CH_2OH	alcohol etílico	1974	radio (2,9 mm)
CH_3OCH_3	dimetiléter	1974	radio (9,6 mm)
C_2H_5CN	cianuro de etilo	1977	radio (3 mm)
HC_7N	cianohexatriino	1977	radio (2,9 cm)
CH_3C_4H	metildiacetileno	1984	radio (1,5 cm)
De diez átomos			
HC_9N	cianoctatetraino	1977	radio (2,9 cm)
De trece átomos			
$HC_{11}N$	cianodecapentaino	1982	radio (1,3 cm)

cristianismo agustinista se impuso en Europa como sistema religioso y cultural en los primeros siglos de nuestra era, y mantuvo su predominio a lo largo de toda la Edad Media, lo que consolidó durante tantos siglos la preponderancia de la idea de la «perfección» de los cielos, así como el modelo de las esferas de Tolomeo.

La llegada del Renacimiento permitió que lo que hoy conocemos como ciencia moderna comenzara a fraguarse y fuese dando sus primeros pasos en el contexto del saber humano, la experimentación y la utilización de las matemáticas como herramienta de trabajo fueron las bases sobre las que surgió el método científico. Éste dio muy pronto sus frutos en el campo de la astronomía, unos frutos que golpearon fuertemente en la antigua concepción del universo. Sin embargo, la idea de unos cielos perfectos había tenido una vigencia indiscutible durante demasiados siglos, no sería posible eliminarla fácilmente, por lo que los descubrimientos científicos la fueron minando, muy lentamente, pero de forma constante.

LAS «IMPERFECCIONES» DE LOS ASTROS

En 1543 Copérnico se decidió por fin a publicar el *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. En este libro Copérnico exponía, con cautela y temor, sus ideas heliocéntricas, en virtud de la cuales la Tierra era desplazada de su lugar preferente en el cosmos. Poco después, en 1596, el astrónomo alemán David Fabricio (1564-1617) descubrió a simple vista que la estrella Omicron Ceti mostraba variaciones periódicas en su brillo, y la llamó Mira («maravillosa»). Fue la primera estrella variable registrada, ¡pero esto no era lo esperado por la idea todavía imperante de unos cielos imperturbables e inmutables! Por si faltaba algo, Giordano Bruno (1548- 1600) empezó a defender la materialidad de los astros: «*...por lo cual podemos concluir que las innumerables estrellas son otras tantas lunas, otros tantos globos terráqueos, otros tantos mundos similares al nuestro, en torno a los cuales esta tierra parece dar vueltas, como ellos parecen dar vueltas y girar en torno a esta tierra. ¿Por qué razón, pues, queremos afirmar que hay diferencias entre este cuerpo y aquéllos, si vemos que se parecen en todo? ¿Por qué intentamos negar que se parecen, si ni la razón ni los sentidos inducen a dudar de ello?*».(12) Sin

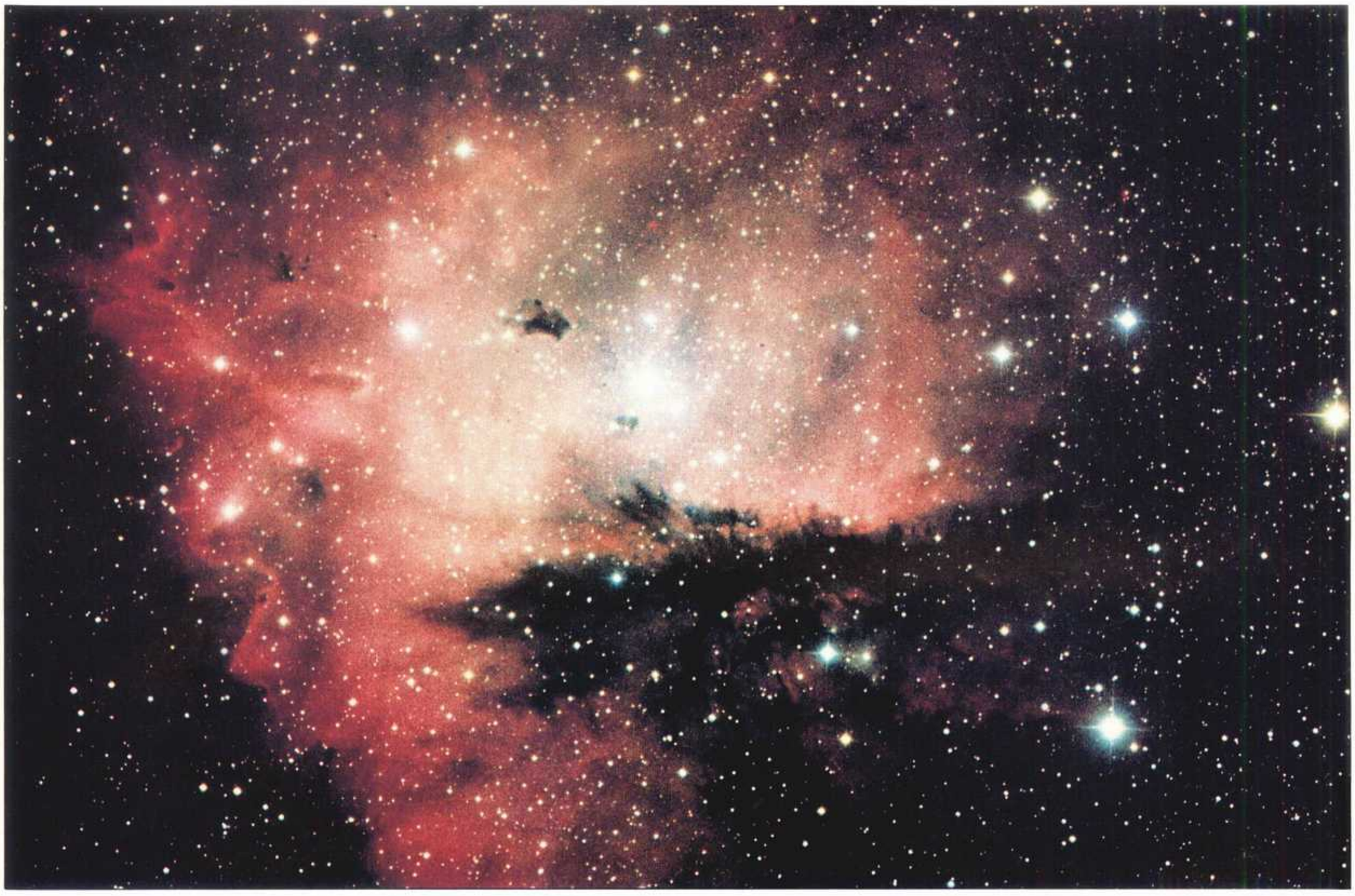


Figura 4. En la foto aparece la nebulosa NGC 281, una inmensa región del espacio rica en estrellas en formación, un auténtico «vivero» de estrellas. Imagen en color real obtenida con el telescopio «Isaac Newton», de 2,5 m, del Observatorio del Roque de los Muchachos (Isla de la Palma). © Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Royal Greenwich Observatory (RGO).

embargo, Bruno, que se enfrentaba valientemente a la teoría platónica de los dos mundos: el sublunar y el astral, seguía negando la materialidad del espacio interestelar al que calificaba de «*vastísimo seno etéreo*».(13)

El golpe definitivo a la idea de unos cielos perfectos llegó a principios del siglo XVII. Los hechos sucedieron en el norte de Italia, donde el matemático, físico y astrónomo Galileo Galilei (1564-1642) recibió la noticia de que habían sido inventados en los Países Bajos unos tubos que, con las lentes adecuadas, producían una imagen agrandada de los objetos. Con estas pocas referencias, el ingenio de Galileo reconstruyó el sorprendente aparato. El telescopio de Galileo revolucionó la Astronomía. Hasta entonces, la única herramienta que poseían los astrónomos para ver el firmamento eran sus ojos. El telescopio permitía ver lo mismo, pero ampliado. Con él se descubrían muchas cosas que habían permanecido inaccesibles. Constituía una nueva dimensión en el mundo del saber y abrió la era de la astronomía telescópica. Al mirar al cielo con su telescopio, Galileo disfrutó la emoción de ver, por primera vez, un universo más próximo y familiar. Al mirar la Luna, se conmovió al descubrir en ella montañas, valles y cráteres similares a los que hay en la Tierra, como ya intuyera Anaxágoras 2 000 años antes. Parecía que, en contradicción con las enseñanzas escolásticas herederas de Aristóteles, la Luna no era tan diferente de la Tierra, no era la esfera celestial perfecta en la que se había creído hasta entonces. Parecía marcada por la misma imperfección —materialidad— que nuestro planeta. Parecía que no había tanta diferencia entre los dos mundos, el sublunar y el celestial, como se decía en las viejas doctrinas. Algo estaba fallando, la Tierra no era la única desordenada e irregular, no sólo la Luna, también el resto del universo parecía no ser tan diferente.

Incluso la creencia de que todo el firmamento gira alrededor de la Tierra, geocentrismo que ya fuera defendido por Ptolomeo en su *Almagesto* y que había sufrido su primera controversia seria con la obra de Copérnico, se desvanecía a través del telescopio: Júpiter, el mayor de los planetas, es cortejado por satélites, que giran a su alrededor. Así relata Galileo su primera observación: «*Pero aquello que mayormente superaba cualquier maravilla, y que principalmente nos movió a dar cuenta a todos los filósofos y astrónomos, fue el haber descubierto cuatro astros errantes, por nadie antes de nosotros conocidos ni observados, que a semejanza de Venus o Mercurio alrededor del Sol, tienen sus órbitas en torno a un cierto astro principalísimo (Júpiter) entre aquellos conocidos, y ora le preceden, ora le siguen, no alejándose de él jamás dentro de ciertos límites. Y todas estas cosas fueron observadas y descubiertas hace pocos días con la ayuda de un anteojo que inventé, tras haber recibido la iluminación de la gracia divina...*».(14)

El telescopio de Galileo también permitía ver una gran mancha en Júpiter —a la que hoy llamamos Gran Mancha Roja— y multitud de ellas en el propio Sol, que además van cambiando de aspecto con el tiempo hasta que desaparecen y se crean otras nuevas, como jactándose de aquel firmamento inalterable y eterno. En detrimento de las teorías escolásticas, empezaban a haber pruebas suficientes para ir cambiando aquella vieja concepción del cosmos. Poco a poco se fue aceptando

(12) G. Bruno, *Del infinito universo e mondi*, diálogo 3°.
(13) G. Bruno, íbid., diálogo 4°.
(14) Galileo Galilei, Carta de Galileo a Gassendi, 1633.

que los planetas y el Sol no eran tan «perfectos» como se había pensado, incluso sus movimientos parecían gobernados por las mismas leyes dinámicas que rigen en la Tierra.

Si bien el telescopio permite espiar el aspecto y los movimientos de los astros luminosos, poco nos dice sobre la naturaleza del espacio que queda entre ellos, éste suele aparecer oscuro e indesvelable a través del ocular. El telescopio, que tanto había aportado a nuestro conocimiento del universo se mostraba incapaz de desvelar los enigmas del espacio interestelar, habría que esperar mucho más tiempo aún para revelar la verdad, mientras tanto, la idea de un éter «lumínico» nos sirvió para llenar el espacio entre las estrellas.

Después del Renacimiento avanzamos tan poco en el conocimiento del espacio que queda entre las estrellas, que en los umbrales del siglo XX todavía andábamos buscando la quintaesencia o éter misterioso que, según la teoría de Aristóteles, llena el universo.

Desde el siglo XVII, y hasta principios del XX se produjo uno de los debates más acalorados de la historia de la ciencia, el de la naturaleza de la luz. Algunos científicos, con Newton como pionero de la idea, defendían que la luz está formada por corpúsculos materiales, lo que les permitía explicar alguna de las propiedades de la luz —como la formación de sombras— aunque eran incapaces de explicar otros fenómenos luminosos —como la polarización—. La teoría así resultante se conoce como teoría corpuscular: «*¿No son los cuerpos y la luz interconvertibles; y los cuerpos no pueden recibir mucha de su actividad de las partículas de luz que los componen?... La conversión de cuerpos en luz, y de luz en cuerpos es muy confortable al curso de la Naturaleza, que parece deleitada con transmutaciones*».(15)

Otros científicos, encabezados por Huygens (1596-1687), defendían una teoría acerca de la naturaleza de la luz totalmente opuesta a la corpuscular, para ellos la luz era un fenómeno ondulatorio (teoría ondulatoria) semejante al sonido o a las olas del mar. Estos últimos también barajaban éxitos y fracasos al interpretar las propiedades de la luz. Una de las características de las ondas es que colisionan —interfieren— sin afectarse mutuamente, gracias a ello podemos, por ejemplo, mantener una conversación con otra persona. Las ondas sonoras producidas por las cuerdas bucales de nuestro interlocutor y las producidas por nosotros mismos se cruzan en el espacio que nos separa, y después siguen su camino como si nada hubiese pasado, hasta que son recibidas por los oídos del otro. Esto es impensable en el caso de sistemas materiales, por ejemplo, cuando dos pelotas de tenis chocan en el espacio la una modifica claramente el movimiento de la otra. Aceptada la naturaleza ondulatoria de la luz por parte de Huygens y sus seguidores, tenían que explicar cómo se produce ese fenómeno de interferencia en el caso de la luz, y para ello se vieron obligados a recurrir al antiguo concepto de éter —ahora desde una perspectiva pseudocientífica: éter lumínico—. Éste no fue el único problema que se planteó dentro de la teoría ondulatoria. Ninguna de las ondas conocidas por entonces era capaz de propagarse en el vacío. En lo que respecta a las ondas sonoras, si encerramos un timbre en un recipiente hermético, a medida que vayamos extrayendo el aire del recipiente dejaremos de ir percibiendo el sonido del timbre. Esto no ocurre con la luz, una linterna colocada en un recipiente donde se ha hecho el vacío sigue siendo observada desde el exterior de éste. ¿Cómo era posible que la luz fuese una onda tan diferente de las otras? ¿Por qué presentaba aquel comportamiento tan díscolo? Para explicarlo, Huygens y seguidores defendieron que el vacío no es vacío, que está ocupado por un material que hacía de soporte para que las ondas luminosas se propagasen, pero tal material tendría que, entre otras cosas, pesar lo mismo que el vacío, es decir nada, lo que no deja de ser una característica extraña e incluso mágica del mismo, tal material no era otro que el éter lumínico. Asimismo, explicar el gran valor de la velocidad de la luz (unos 300 000 km/s, medido por Röemer hacia 1680), también requería del éter un comportamiento especial, como densidad prácticamente nula, elasticidad perfecta y transparencia. En palabras de Huygens: «*nada impide que consideremos que las partículas de éter están hechas de una sustancia tan próxima a la dureza perfecta y a la elasticidad de un muelle*»;(16) y de Euler: «*Con respecto a la propagación de la luz en el éter, ésta se realiza de una manera semejante a la propagación del sonido en el aire. Así como el estremecimiento en las partículas del aire constituye el sonido, el estremecimiento causado en las partículas del éter constituye la luz o los rayos luminosos. De forma que la luz es una agitación o estremecimiento originado en las partículas del éter, que se encuentra por todas partes a causa de su extrema sutileza, gracias a la cual penetra todos los cuerpos...(y) llena los inmensos espacios entre el Sol y nosotros, y en general entre todos los cuerpos celestes...*».(17)

Las palabras de Euler nos recuerdan la vigencia, ya en el siglo XVIII, del éter como sustancia que llena el espacio entre las estrellas, a modo de fondo cósmico de propiedades misteriosas, que podía ser utilizado como un marco de referencia absoluto de todos lo movimientos. Para Ampère (1775-1836) el éter era «*el fluido, que llena todo el espacio, prácticamente incompresible, pasa a través de todos los cuerpos como el aire a través de una gasa, y los movimientos excitados por este fluido se propagaban en él por una especie de rozamiento de las capas que ya estaban en movimiento con las que todavía seguían inmóviles*».(18)

Pero este modelo de éter, mitad sólido, mitad fluido clásico, era difícil de aceptar por algunos científicos críticos. Fresnel entendía tales críticas pero justificaba la existencia del éter como una necesidad para explicar las propiedades de la luz dentro de aquella antigua teoría ondulatoria: «*No hay ningún absurdo mecánico en la definición de las vibraciones luminosas que las propiedades de los rayos polarizados me obligan a adoptar*».(19) Efectivamente, con el concepto de éter Fresnel interpretó el fenómeno de la polarización, pero a costa de tener que aceptar la existencia de esta extraña sustancia. La idea del éter lastraba el desarrollo de la teoría ondulatoria, Einstein destacaría más tarde: «*Hubo (en la Física «clásica») una concentración de todas las dificultades en unos pocos puntos esenciales, uno de ellos era el éter (en el caso de los fenómenos ópticos)*».(20)

Entre 1881 y 1887, el físico germano-norteamericano A. A. Michelson (1852-1931) y el químico norteamericano E. W. Morley (1838-1923) se decidieron a realizar una serie de experimentos encaminados a detectar esta misteriosa sustancia y medir con precisión la velocidad de la luz, la velocidad más alta conocida. La medición de la velocidad de la luz constituyó una verdadera pasión para Michelson. Para realizarla, en 1881 construyó un interferómetro, dispositivo que divide en dos un rayo de luz y manda cada mitad en una dirección diferente. Al reunirse de nuevo ambas mitades, si los dos rayos han recorrido distancias iguales con velocidades diferentes, interfieren produciendo unas figuras peculiares en las que se alternan bandas luminosas y oscuras. Este mismo dispositivo también podría poner en evidencia la presencia de éter. Como se pensaba en la existencia de un éter cósmico, misterioso e inmóvil, sobre el que la Tierra efectuaría una especie de navegación, al interferir las dos mitades que resultan de la división de un rayo de luz en un interferómetro, después

Figura 5. Una de las joyas del cielo, la nebulosa planetaria «Dumbbe 11» (NGC 6583). Una gigantesca nube multicolor que se ha formado cuando una estrella como nuestro sol ha llegado al final de sus días. Imagen en color real obtenida con el telescopio «Isaac Newton», de 2,5 m, del Observatorio del Roque de los Muchachos (Isla de la Palma). Equipo: J.M. Vilchez (IAC), D. Malin (AAO), D. Jones (RGO), M. Briganti (IAC), G. Pérez (IAC), L. Manadé (IAC), L. Chinarro (IAC), L. Cuesta (IAC), G. Rodríguez (IAC). Laboratorio Fotografía IAC, Taller Mecánica IAC, Grupo Técnico INGT. Observatorio del Roque de los Muchachos (Isla de la Palma) del IAC. © Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Royal Greenwich Observatory (RGO).

de que una de las mitades se moviese en el sentido del desplazamiento de la Tierra y la otra en dirección perpendicular a éste, el segundo rayo debería sufrir un retraso respecto del primero. Es como si, desde un barco que navega por un mar tranquilo, parten dos nadadores, uno de ellos nada en el sentido de avance del barco y el otro lo hace perpendicularmente al mismo: el primero favorecido por el efecto que produce el oleaje creado por el barco, avanzará más rápidamente que el segundo. Un retraso de uno de los rayos de luz respecto del otro, pondría de manifiesto la existencia de ese pretendido éter lumínico, que serviría de soporte para la propagación de la luz por el cosmos.

Sorprendentemente, el experimento, después de muchas pruebas, no dio los resultados esperados. Los dos rayos de luz se desplazaban a la misma velocidad, independientemente de que se moviesen o no a favor de la supuesta corriente de éter, que la Tierra debería crear en su desplazamiento por el universo. No se esperaba un resultado como éste que echaba por los suelos todas las teorías sobre la existencia de un éter lumínico, que no daba señales de existencia, simplemente era un recurso utilizado dentro del modelo ondulatorio de la luz, y en ciencia sólo se puede admitir aquello que es contrastado mediante la experimentación, por lo que poco a poco se fue desconfiando de la existencia del éter. En 1905 la teoría sobre el éter recibió el golpe final. Le fue asestado por un recién llegado al mundo de la física, Albert Einstein (1879-1955), quien con su teoría de la relatividad puso buena parte de la antigua física boca abajo, lo que permitió que cayesen antiguos mitos de la misma, uno de ellos era el éter. En relación con la experiencia de Michelson-Morley, Einstein escribió: «*el resultado fue la condena a muerte de la teoría del océano de éter inmóvil en el que se mueve toda la materia*».(21)

Piedra angular de la teoría de la relatividad de Einstein, actualmente contrastada mediante multitud de experiencias, es la formulación de la constancia absoluta de la velocidad de la luz independientemente de la dirección en la que se desplace; es decir, si observamos una fuente luminosa, como por ejemplo una estrella, la velocidad con que se propaga la luz emitida por tal estrella es la misma tanto si se aleja como si se aproxima a nosotros. Esto permitía explicar

(15) I. Newton, *Opticks, query 30*, segunda edición, 1717.
(16) Huygens, *Traité de la lumière*, reedición, París 1920, p. 14-15.
(17) L. Euler, *Cartas a una princesa de Alemania sobre diversos temas de física y filosofía*, carta del 17 de junio de 1760.
(18) C. Blondel lo cita en: *Ampère et la crèation de l'électrodynamique*, 1982, p. 162.
(19) A. Fresnel, *O'Euvres complètes*, tomo II, p. 512, 1821-1822.
(20) A. Einstein, y L. Infeld, *L'evolution des idées en physique, des premiers concepts aux théories de la relativité et des quanta*, reed. del libro publicado en 1938 por Flammarion, París 1982, p. 114. Este libro es traducción del original inglés *The evolution of physics*, Simon and Schuster, 1938.
(21) A. Einstein, y L. Infeld, ibid. p. 164.

LAS FLORES SILVESTRES

Hoy las plantas silvestres son apreciadas sobre todo por su belleza, aunque el conocimiento de la utilidad de algunas especies comunes ha aumentado en los últimos años. Las plantas incluidas en esta guía están ampliamente distribuidas por Gran Bretaña y el norte de Europa. La mayoría de ellas crecen en lugares fácilmente accesibles, como la costa, a lo largo de setos vivos, en las orillas, de los caminos y en áreas de esparcimiento, y son las que el lector puede encontrar con más facilidad.

Formato: 13,5 × 20 cm

Páginas: 128 en cartoné

Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P. 923 Ptas. (Incluido IVA)

Pídalo a su librero
o contrarrembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

Valencia, 359 – 6.º 1.ª
08009 Barcelona (España)

el fracaso de la experiencia que trató de evidenciar la existencia del éter: «*La introducción de un éter luminoso se vuelve innecesaria porque nuestra concepción no utiliza para nada el «espacio absoluto en reposo» dotado de propiedades especiales*».(22)

Desde entonces, la teoría del éter fue definitivamente refutada y desechada. Había dominado el pensamiento humano durante demasiado tiempo, había lastrado nuestra concepción del universo durante una larga era de oscurantismo, pero finalmente el empirismo científico lograba derrotar a la elucubración, se cerraba con ello uno de los tomos más voluminosos de la historia del pensamiento.

PARTÍCULAS, ÁTOMOS Y MOLÉCULAS ENTRE LAS ESTRELLAS

A partir de 1911, el físico austriaco V. F. Hess (1883-1964) se dedicó al estudio de una radiación muy energética que se había descubierto hacía pocos años pero que nadie sabía de dónde procedía. Hess decidió lanzar globos sonda con electroscopios a bordo, y así descubrió que con la altura la radiación era cada vez más intensa, por lo que sugirió para la misma un origen extraterrestre. En 1925, el físico norteamericano R. A. Millikan (1868-1953) bautizó con el nombre de rayos cósmicos a esta radiación de fondo altamente energética cuyo origen se discute todavía. En 1936 Hess recibió el premio Nobel de Física en reconocimiento a sus trabajos.

Los rayos cósmicos están formados por partículas cargadas eléctricamente que se mueven por el espacio a velocidad relativista (próxima a la velocidad de la luz). Los componentes principales de estos rayos son los protones (84 %), núcleos de helio (14 %), electrones (1 %) y núcleos más pesados (1 %). Con el descubrimiento de que los rayos cósmicos pueblan el universo se empezaba a demostrar que el espacio interestelar no está totalmente vacío, al menos unas minúsculas partículas materiales se mueven por él y lo ocupan. Comenzaba a evidenciarse la materialidad de esta oscura región del cosmos. El descubrimiento de los rayos cósmicos es sólo el primer síntoma de que entre las estrellas hay algo más que un vacío total o un espacio mágico, hay materia, ésta quedó claramente en evidencia con la llegada de la espectroscopia.

En las primeras investigaciones espectroscópicas del firmamento, llevadas a cabo en el siglo XIX, se estudió fundamentalmente la composición de los cuerpos más luminosos, lo que permitió la detección de numerosos elementos químicos en las estrellas. Quedaría para principios del siglo XX el estudio de las partes más oscuras del cosmos. En 1904 los astrónomos del observatorio alemán de Postdam estudiaban espectroscópicamente la luz procedente de una estrella doble que había sido descubierta poco antes y que se conoce como *δ-Orionis*. El astrónomo Johannes Hartmann (1865-1936) notó que la mayoría de las líneas del espectro, registrados a intervalos de tiempo, oscilaban en sus posiciones, unas veces desplazadas hacia el rojo y otras hacia el violeta, algo normal en la luz de una estrella como *δ-Orionis* (binaria espectroscópica). Sólo dos líneas no se comportaban así, correspondían al calcio ionizado (Ca^+). El comportamiento estacionario de estas líneas probaba que no pertenecían al sistema estelar, debían ser producidas por materia situada entre *δ-Orionis* y la Tierra, en la región interestelar, en palabras del propio Hartmann: «*Nos vemos obligados a aceptar que en algún lugar del espacio, en la línea de visión entre nosotros y δ-Orionis, hay una nube compuesta de vapores de calcio que absorbe la luz y que se aleja de nosotros a una velocidad de unos 16 km/s*».(23)

Hartmann daba así los primeros pasos en el estudio de la composición del medio interestelar. Las señales correspondientes a átomos de calcio (Ca), hierro (Fe), titanio ionizado (Ti^+) y potasio (K) fueron detectadas en el espacio entre las estrellas poco tiempo después. Con el descubrimiento de átomos interestelares se empezó a sospechar de la posible existencia de estructuras más complejas, de moléculas interestelares.(24)

En 1937 se identificó(25) la molécula CH en el espacio intersideral a partir de una línea espectral ya registrada.(26) Otras líneas observadas(27) en 1941 condujeron en ese mismo año al descubrimiento del cianógeno,(28) CN. Entre 1941 y 1942 se llevó a cabo el descubrimiento de la especie CH^+.(29,30)

Esas primeras moléculas interestelares ^-CH, CH^+ y CN^- son muy reactivas y por tanto inestables en las condicionesfísicas y químicas que reinan en nuestro planeta, tienen pues una existencia efímera en los laboratorios terrestres y su formación ha de tener lugar en condiciones violentas, como descargas eléctricas o mediante iluminación muy energética. Además, las condiciones físicas que imperan en el espacio que queda entre las estrellas son bastante agresivas para la existencia de moléculas. La temperatura promedio es inferior a los −200 °C, lo que

no favorece la existencia de reacciones químicas en las que se formen las moléculas, y la radiación ultravioleta producida por las estrellas próximas es capaz de romper la mayoría de los enlaces que mantienen unidos a los átomos de las moléculas que, a pesar de la baja temperatura, pudiesen llegar a formarse. Todo ello hizo que se fraguase la idea de que sólo moléculas tan inestables como CH, CH^+ y CN podrían existir en el inhóspito espacio que queda entre las estrellas.

No obstante, parece que ya en 1926 Eddington había conjeturado sobre la existencia de grandes nubes de gas y polvo en el espacio interestelar, en el interior de las cuales las moléculas estarían protegidas de su destrucción. La presencia del polvo haría que estas nubes fuesen opacas a la luz de las estrellas próximas.[31,32] Sin embargo, al ser nubes opacas no pueden ser analizadas por técnicas ópticas (análisis de la luz visible). El análisis del firmamento mediante la espectroscopia óptica estaba llegando a su propio límite, poco más podría aportar al estudio de la composición del cosmos, había que esperar la llegada de una nueva técnica espectroscópica: la radiotelescopia. Durante la segunda guerra mundial el radar (de *radio detection and ranging*) fue un elemento defensivo de primera magnitud. Su funcionamiento es sencillo, básicamente es un dispositivo que emite ondas electromagnéticas que cubren determinada región del espacio, cualquier objeto que atraviese esa zona provocará la reflexión de esas ondas y así podrá ser localizado. Pero para ello no sirve cualquier onda electromagnética; por ejemplo, la luz visible es absorbida, obstaculizada y dispersada por la humedad, la niebla y el polvo. Sin embargo, las ondas de radio más cortas superan fácilmente estos obstáculos y además son reflejadas por objetos del tamaño de un avión. Acabada la guerra buena parte de los físicos e ingenieros que habían trabajado con el radar durante la confrontación continuaron trabajando con las radioondas, pero esta vez el objetivo era el firmamento. Durante los años 50 y 60 se construyeron los primeros grandes radiotelescopios y muy pronto se descubrieron con ellos moléculas interestelares de un tamaño considerable.

En 1968 se identificaban[33,34] amoniaco, NH_3, y agua, H_2O; unas moléculas que nos resultaban muy familiares. En 1969 se detectaba el formaldehido (H_2CO). En 1970 se identificaban monóxido de carbono CO,[35] ion formilo (HCO^+), cianuro de hidrógeno (HCN), ácido fórmico (HCOOH), cianoacetileno (HC_3N) y alcohol metílico (CH_3OH). En 1971 ya se habían descubierto los mensajes que, en forma de ondas de radio, nos envían más de una docena de moléculas desde el oscuro espacio interestelar. El radiotelescopio era la herramienta adecuada que permitía captar y descifrar estos mensajes. En los años siguientes se desencadenó una cascada tal de nuevos descubrimientos que hoy día son casi 100 las especies detectadas en el anteriormente considerado espacio interestelar etéreo. La presencia de moléculas tan complejas en el medio interestelar demuestra que, aun sin alcanzar la variedad conocida en la Tierra, en ese espacio considerado etéreo durante siglos, ocurren procesos químicos cuya exploración no ha hecho más que comenzar. Lo que Anaxágoras ya intuyera hace unos 2 500 años hemos llegado a demostrarlo desde una perspectiva científica hace sólo unas décadas. Anaxágoras pasó en el exilio los últimos años de su vida, y no le faltó el cariño y el respeto de los lampsacenos. Preguntado por los arcontes de la ciudad qué deferencia deseaba que se le concediese para honrar su memoria dijo que todos los años, en el mes de su muerte, se les diese vacaciones a los niños para que pudiesen jugar...,[36] costumbre que aún se conservaba en el siglo III. Murió el 428-427 a.C. y los lampsacenos inscribieron en su sepulcro el siguiente epitafio: «*Aquí yace Anaxágoras excelente, que junto al fin de su activa carrera, comprendió claramente los secretos que contiene la esfera celeste.*» El medio interestelar es generalmente oscuro, por carecer de luz propia. Pero en determinadas circunstancias —como la presencia de estrellas próximas, explosiones de supernova, etc.— algunas nubes interestelares resplandecen maravillosamente en formas caprichosas y coloristas, constituyendo objetos astronómicos de singular belleza. Este esplendor se pone en evidencia con las excelentes fotos que acompañan este artículo, registradas desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la Isla de la Palma. ■

PARA MÁS INFORMACIÓN:

- C.R. Kitchin, *Stars, nebulae and the interstellar medium*, Ed. Adam Hilger, 1987.
- T.W. Hartquist (Ed.), *Molecular Astrophysics*, Cambridge University Press, 1990.
- A. Arnau, I. Tuñón, J. Andrés y E. Silla, «HCnN: The largest molecules in the Interstellar Medium», *Journal of Chemical Education, 67*, 905, 1990.
- A. Arnau *et al.*, «Ab initio rotational constants of interstellar species: hidrogenated derivatives of HCN and HC_3N», *Astrophyisical Journal Supplement Series, 88(2)*, 595, 1993.
- A. Arnau *et al.*, «Ab Initio Rotational Constants of Isocyanopolyynes», *Astrophysical Journal Letters*, *415*, L151, 1993.
- A. Arnau *et al.*, «Ab initio rotational constants of interstellar species: cyanoacetylene hydrogenated derivatives», *International Journal of Quantum Chemistry*, *46*, 231, 1993.
- A. Arnau *et al.*, *El Medio Interestelar*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valencia, Valencia, 1991.

colección Ciencias

LA TRASTIENDA DEL SABIO

(profusamente ilustrada)

¿Cuál es el significado social de la ciencia?
Pierre Thuillier hace una crítica rigurosa sin olvidar la ironía ni la anécdota y plantea una de las más importantes cuestiones de este fin de siglo: ¿cuál es la finalidad de la ciencia?
Un libro apasionante, corrosivo y profusamente ilustrado.

Formato: 29 x 21 cm
Páginas: 120
Fotografías e ilustraciones
ISBN: 84-85530-44-6

P.V.P.: 1361 ptas.

Pidalo a su librero o contrarrembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

Valencia 359, 6º 1ª
08009 - Barcelona (España)

(22) A. Einstein, *Annal. der Phys., 17*, 891, 1905.
(23) J. Hartmann, *Astrophysical Journal, 19*, 268, 1904.
(24) A.S. Eddington, *Proceedings R. Soc., A111*, 424, 1926.
(25) P. Swings y L. Rosenfeld, *Astrophysical Journal, 86*, 483, 1937.
(26) T. Dunham, *Publ. Astron. Soc. Pacif., 49*, 26, 1937.
(27) W.S. Adams, *Astrophysical Journal, 93*, 11, 1941.
(28) A. McKellar, *Publ. Dominion Astrophys. Obs., VII*, 251, 1941.
(29) A.E. Douglas y G. Herzberg, *Astrophysical Journal, 94*, 381, 1941.
(30) A.E. Douglas y G. Herzberg, *Canadian Journal Research, 20A*, 71, 1942.
(31) E.E.Barnard, *Atlas of Selected Regions of the Milky Way*, ed. E. B. Frost y M. R. Calvert, Carnegie Inst. Washington, 1927.
(32) B.J. Bok y E.F. Reilly, *Astrophysical Journal, 105*, 255, 1947.
(33) A.C. Cheung *et al.*, *Physical Reviews Letters, 21*, 1701, 1968.
(34) A.C. Cheung *et al.*, *Nature, 221*, 621, 1969.
(35) R.W. Wilson *et al.*, *Astropysical Journal Letters, 161*, L43, 1970.
(36) Laercio Diógenes, *Vida y opiniones de los filósofos*, II.8.

N.º 33

LA TRADUCCIÓN AUTOMÁTICA, por Makoto Nagao.
LA CIRUGÍA CARDIACA, por Daniel Loisance.
EL HÁBITAT CÉLTICO, por Olivier Büchsenschütz.
LOS MATERIALES INCONMENSURABLES, por Jacques Villain.
EMILIO DEL VILLAR Y EL PRI
MAPA DE SUELOS DE L
PENÍNSULA LUSO IBÉRIC
por Jordi Martí Hennebe

Nº 109

LA RESPIRACIÓN DE LOS ARÁCNIDOS, por Rüdiger Paul.
LOS POLÍMEROS TERMOESTABLES, por Bernard Sillion y Guy Rabilloud.
LA CRISTALOGRAFÍA BIOLÓGICA, por Roger Fourme y Joël Janin.
UNA NUEVA ESTRATEGIA PARA EL PLUTONIO, por Jean-Paul Schapira.

Nº 113

LA ACÚSTICA DEL GONG por Thomas D. Rossing
EL PLEGAMIENTO DE LAS PROTEÍNAS por Thomas E. Creighton
EL TÉCNICO INVISIBLE por Steven Shapin
LA EQUINOCOCOSIS, ENFERMEDAD PARASTARIA por P. Delattre, P. Giraudoux y M. Pascal
EL FUTURO DEL PROGRAMA ESPACIAL SOVIÉTICO por Constantin Gringaouz

Nº 110

LA OLFACCIÓN Y EL DESARROLLO DEL NIÑO, por Benôit Schaal y Richard H. Porter.
LAS SUPERREDES MAGNÉTICAS, por Albert Fert, Jean-Pierre Renard, Patrick Etienne, Fréderic Nguyen-Van Dau y Gérard Creuzet.
EL FONDO DIFUSO COSMOLÓGICO, por Nicola Vittorio y Marc Lachièze-Rey.
EL DESTINO DE LAS CÉLULA EN EL EMBRIÓN, por Richard L. Gardner.

NO ESPERE MÁS
PARA COMPLETAR SU COLECCIÓN

OFERTA ESPECIAL

SOLAMENTE VÁLIDA PARA ESPAÑA

5 NÚMEROS POR SÓLO 1500 PTS.

Nº 114

EL TRATAMIENTO DEL INFARTO DE MIOCARDIO, por Frans Van de Wert.
LOS CRISTALES DEL FUTURO, por François Lerbet.
LA ESTRUCTURA DEL SOL, por Bernard Buffat y Bethonieu,
LA ECOLOGÍA DE LOS MANGLARES, por Gabrielle Daniel Vignaud.
Michel Cassé y
por François Blasco.

Nº 117

SIDA: EL ORIGEN DE UNA EPIDEMIA por H. Rübsamen-Waigmann, U. Dietrich, M. Grmek y O. Dargouge
LOS PÚLSARES ULTRARRÁPIDOS por Anthony W. Jones y Jean-Marc Bonet-Bidaud
LA RESISTENCIA DE LOS INSECTOS por Marylène Poirié y Nicole Pasteur
LA FÍSICA DE LA SEDIMENTACIÓN por Robert Blanc y Etienne Guyon
EL ARTE PREHISTÓRICO por Steven Mithen

Nº 108

¿QUIÉN ES QUIÉN EN CIENCIAS DE LA VIDA EN ESPAÑA?,
EL CAOS DETERMINISTA, por Ángel Pestaña.
¿CÓMO EVALUAR EL COSTE DEL RIESGO NUCLEAR?, por Hermann Haken y Arne Wunderlin.
EL ORDENADOR CULTIVA SU JARDÍN, por Michel Damian y Dominique Finon.
por Ana Gerschenfeld.

Nº 120

LA PERCEPCIÓN DE LA GRAVEDAD, por Laurence Schaffar y Alain Esterle.
LA TEORÍA CELÚLAR, por François Duchesneau.
LA ELECTRÓNICA DEL MAÑANA, por Claude Weisbuch, Steven Beaumont, Clivia Sotomayor-Torrès, Joerg Kotthaus, Kees Harmans, Peter van Daele, John Williamson y Fernando Briones.

Nº 127

LOS INDUSTRIALES VERDES, por Dominique Chouchan.
LA REFLECTIVIDAD DE LOS RAYOS X, por Jean-Jacques Benattar.
LA RADIACTIVIDAD DE LAS ESTRELLAS, por Nicolas Prantzos.

BOLETÍN DE PEDIDO

Nombre .....
Domicilio .....
Población ..... C.P. ..... Provincia .....

Deseo que me envíen los siguientes cinco números de Mundo Científico:

Con esta oferta pueden solicitar cualquier número de la revista desde el nº 1 al actual, (agotados los siguientes: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 20, 21, 27, 31, 36, 38, 43, 50, 53, 57, 60, 67, 71, 72, 73, 96 Y 104) al precio de oferta de 1 500 ptas. cuyo deseo efectuar mediante:

Talón adjunto por 1 500 ptas.
Contrarrembolso (más 300 ptas. de gastos de envío)

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
Editorial Fontalba, S.A. Valencia 359, 6º 1ª - 08009 Barcelona

LOS ARCHIVOS DEL PALEOLÍTICO

¿Es el arte paleolítico la primera memoria colectiva del hombre? ¿Hasta qué fecha se pueden remontar las primeras manifestaciones de una transmisión cultural que pasa por representaciones de imágenes? Según Randall White, hubo que esperar hasta hace unos cuarenta mil años para que los hombres prehistóricos lograsen representar sus imágenes mentales en piedra o en las paredes de cuevas.

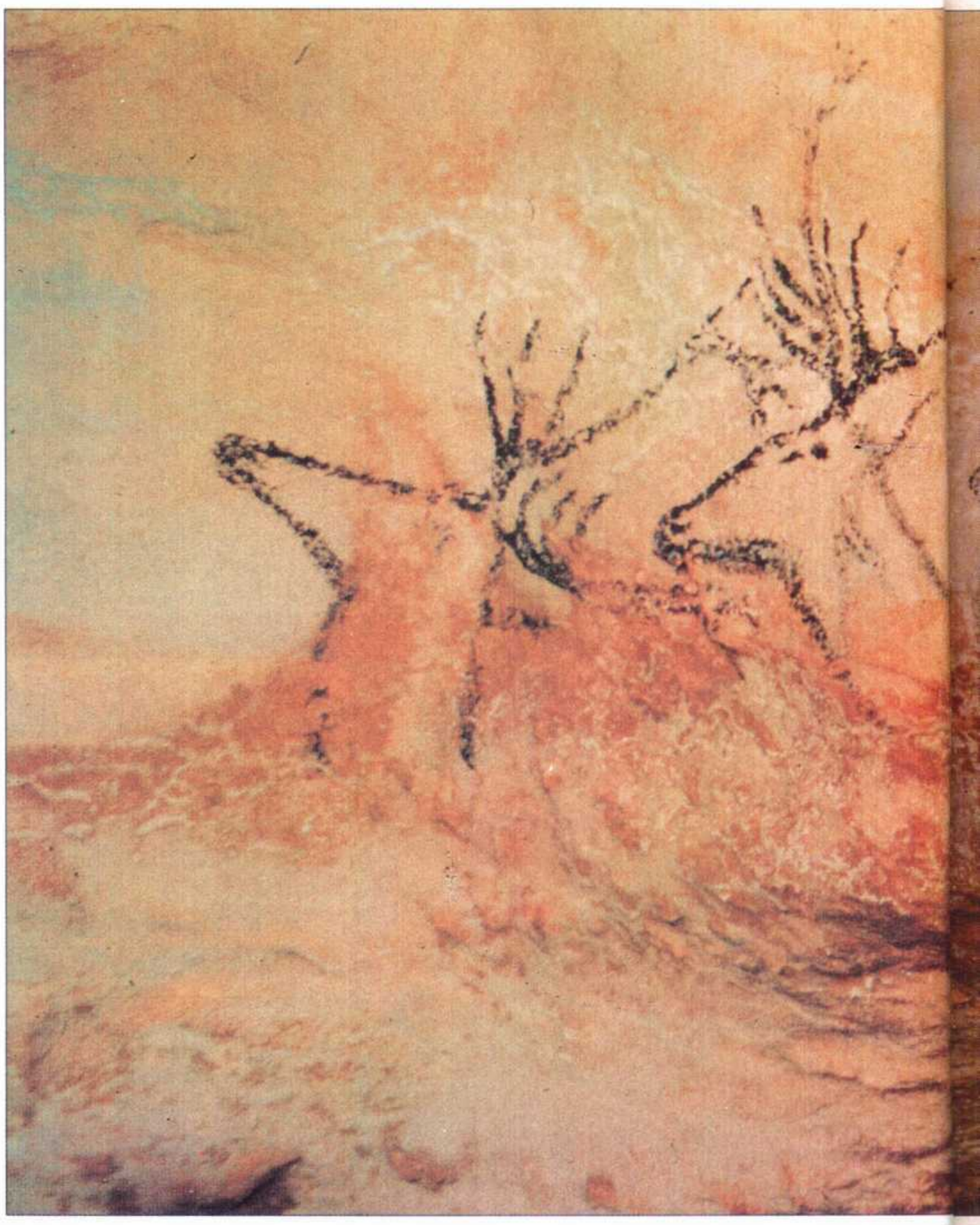
RANDALL WHITE

Al igual que la memoria persiste pese a la sustitución permanente de las células del cerebro, las tradiciones y las prácticas culturales humanas pueden sobrevivir durante milenios pese a la sucesión ininterrumpida de generaciones de seres humanos. ¿Cuáles son los procesos propiamente *culturales* de la memoria y hasta dónde nos podemos remontar en el tiempo para encontrar su origen?

Generalmente consideramos a nuestros recuerdos como si se tratasen simplemente de acontecimientos del pasado almacenados de una u otra manera en nuestro cerebro. Sin embargo, sería más exacto considerar a la meoria como un proceso electroquímico de *representación*. La noción de representación también es útil para comprender la memoria cultural. Un artículo, una fotografía familiar, un uniforme, una imagen informática, una palabra, un apretón de manos o una pintura mural tienen en común que representan realidades vividas. Y este proceso de representación desempeña un papel crucial en la capacidad de las sociedades humanas de conservar la huella de experiencias vividas y de reproducirlas en las generaciones siguientes, en particular cuando adopta una forma material.

Durante la evolución de los homínidos aparecieron dos nuevos modos de representación, el gesto y la palabra, según la definición que dio André Leroi-Gourhan hace más de treinta años.(1) El gesto y la palabra han evolucionado paralelamente, haciendo intervenir las mismas áreas funcionales del cerebro y en consecuencia las primeras herramientas, simples «guijarros adaptados» fabricados hace más de dos millones de años, implican un lenguaje igualmente simple. No es hasta hace solamente 40 000 años antes de nuestra era, cuando los primeros Cro-Magnon europeos empezaron a grabar y a esculpir animales y hombres, que podemos estar seguros de que su lenguaje había alcanzado un grado de complejidad igual al nuestro.

André Leroi-Gourhan demostró que la palabra tiene un equivalente complementario y paralelo en el gesto. La conjunción del gesto y de la harramienta constituye el fundamento de la técnica y, según Leroi-Gourhan, el gesto es a la técnica lo que la palabra es al lenguaje. La expresión técnica (movimientos, objetos, formas, ritmos, texturas, colores) no es menos significativa que la expresión oral. Por esta razón consideraba el origen, hace 40 000 años, de lo que denominó el «grafismo» como el punto de partida de todo un abanico de nuevas posibilidades de representación que culminaron en la escritura, que es sin duda



la forma de memoria cultural más perdurable.

Según el sociólogo P. Connerton, el recurso al gesto para formar representaciones materiales se apoya menos en la memoria cognitiva (los hechos aprendidos) o individual (los recuerdos personales) que en la memoria operativa.(2) Siguiendo en esto a Marcel Mauss(3) y a André Leroi-Gourhan, Connerton señala que, en contraste con la memoria cognitiva o individual, «*toda práctica corporal como nadar, coser a máquina o bailar requiere, para poderse realizar correctamente, toda una cadena de actos relacionados unos con otros*», lo que Leroi-Gourhan llamaba una «cadena operativa». Pierre Bourdieu, profesor en el Colegio de Francia, ha dado a estas secuencias operativas adquiridas, que tienen un carácter altamente convencional y que pertenecen en exclusiva a una cultura, el nombre de «habitus». Estas cadenas operativas son los elementos constituyentes de todas las representaciones materiales y como vamos a ver, se pueden reconstruir, al igual que los gestos que las componen, a partir de datos arqueológicos.

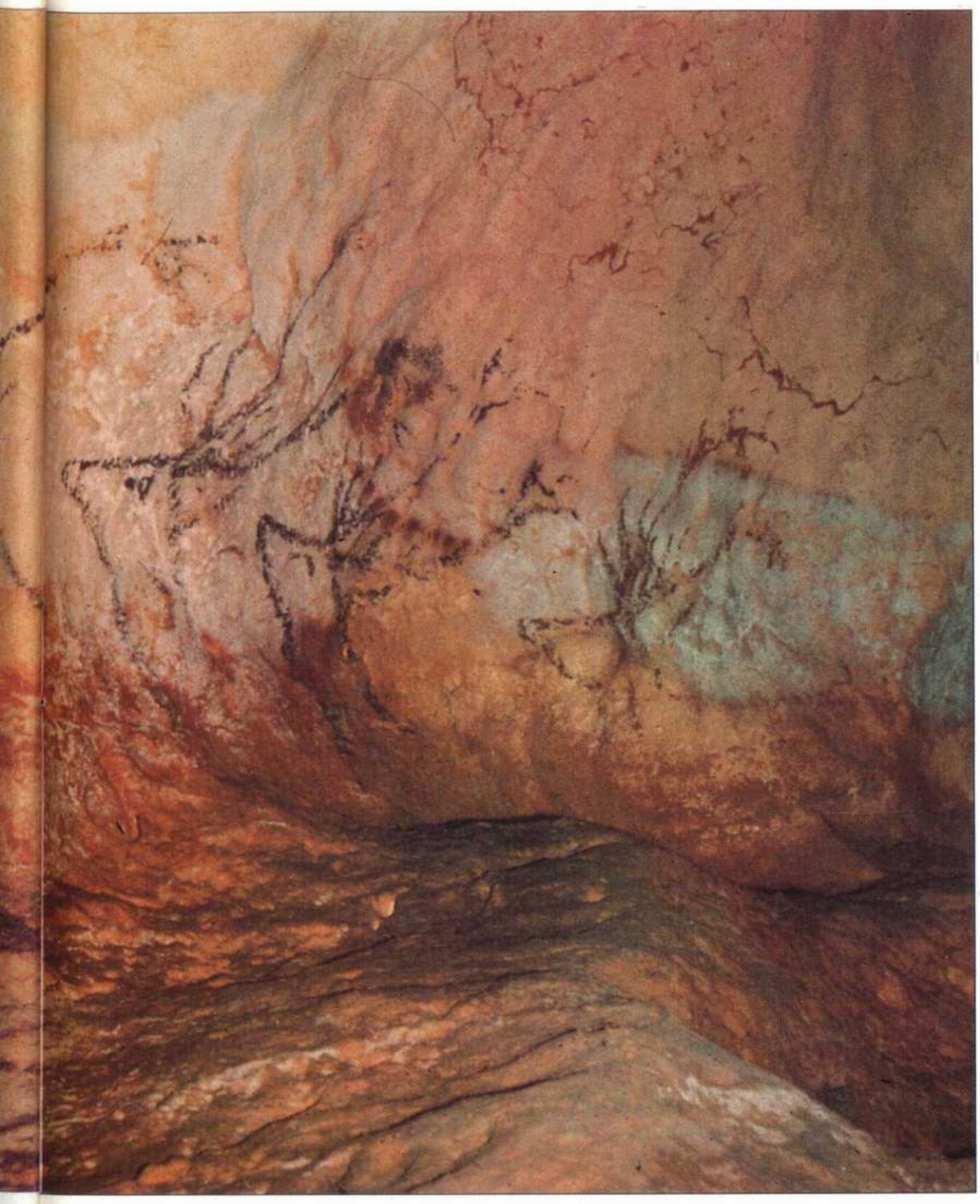
La mayoría de los arqueólogos consideran que las herramientas de los más antiguos homínidos y las bifacies del Paleolítico inferior de hace 200 000 años ya eran formas ideales que los homínidos intentaban realizar. Luego, con el tiempo, desarrollaron las capacidades neuromotrices necesarias para unas cadenas operativas cada vez más complejas. Estas últimas constituyen el indicio neto de una capacidad de representación cada vez mayor.

No obstante, hace 40 000 años, se produjo una transformación evolutiva que Leroi-Gourhan denominó «el nacimiento del grafismo». Los hombres lograron entonces fundir gestos y herramientas en técnicas que permitían transformar las representaciones mentales en representaciones materiales. Al igual que la palabra condujo a representaciones vocales colectivas, el gesto sirvió para elaborar representaciones materiales colectivas.

Las consecuencias para la cultura humana de la aparición de representaciones materiales duraderas fueron enormes. Estas representaciones duran mucho tiempo; pueden seguir vehiculando un significado en ausencia del individuo que les ha dado forma. También acumulan historias que les son propias, lo que tiene el efecto de aumentar su potencia y su valor simbólico al relacionarlas con los antepasados de un grupo humano.(4) Tienen propiedades visuales y táctiles que no poseen las palabras: una pintura puede expresar y evocar algunas cosas mejor que una frase.

DE LA IMAGEN MENTAL A LA REPRESENTACIÓN

Las representaciones materiales, vestidos, iconos y fetiches, existen por tanto paralelamente y de forma complementaria a las representaciones lingüísticas. Quizá, lo más importante, es su permanencia, lo que hace de ellas un lugar esencial de preservación del saber cultural. También pueden actuar de forma duradera como recordatorio a partir del cual se pueden reavivar, discutir y actualizar mitos, ceremonias, estrategias adaptativas, conocimientos sobre el medio, genealogías y representaciones sociales complejas. Aunque la mitología, por ejemplo, no necesita ser representada materialmente para existir, su representación figurada en forma de «mitografía», según los términos de Leroi-Gourhan, le aporta credibilidad, durabilidad, inmediatez y autenticidad.



¿Hasta dónde se puede remontar la memoria cultural del hombre? Los prehistoriadores estiman que las primeras representaciones figurativas se remontan a 40 000 años, cuando los hombres lograron transladar las representaciones mentales a las paredes de las cuevas y a las piedra. ¿Pero, aunque podemos identificar los «ciervos nadando» de Lascaux, somos sin embargo capaces de comprender su significado? Una de las características de las representaciones visuales es que adquieren significados nuevos y sentidos más matizados con el paso del tiempo, lo que complica singularmente el estudio de estas primeras memorias del hombre. (Foto J. Vertut.)

RANDALL WHITE es profesor del departamento de antropología de la universidad de Nueva York y director del Institute for Ice Age Studies. Desde 1974, trabaja sobre el paleolítico superior francés. Durante varios años se ha interesado por las más antiguas representaciones visuales, especialmente por el origen de los adornos.

Sin embargo, las representaciones visuales siempre conservan la suficiente ambigüedad para adaptarse a nuevos usos históricos y sociales. Su significado no tiene nunca un carácter de evidencia para individuos ajenos a su contexto histórico y cultural inmediato. Tanto si se trata de un fragmento de la Biblia como de la película de un aficionado o de una joya de familia, estas representaciones adquieren nuevos significados y sentidos más matizados con cada nuevo uso, al igual que las representaciones mentales. Por ello los arqueólogos, cuando se encuentran ante representaciones materiales totalmente explícitas, como las pinturas de animales de Lascaux, son incapaces de *leerlas*. La identificación de un caballo en una pintura rupestre no plantea ninguna dificultad, pero es imposible deducir el conjunto de significados y de metáforas que los hombres del Magdaleniense podían atribuir a los caballos hace 17 000 años. Esto nos lleva al problema de saber cómo pueden abordar los prehistoriadores el problema de la evolución de los mecanismos de la memoria cultural.

Durante los diez últimos años, mis investigaciones han versado fundamentalmente sobre las representaciones materiales desarrolladas durante los primeros milenios que siguieron al nacimiento del grafismo, hace unos 40 000 años. En este caso, se trata de cuentas y de colgantes de marfil y de piedra blanda, de conchas y de dientes de animales perforados, de esculturas y de grabados en marfil y en piedra. La gran innovación de este momento crucial en la evolución humana consiste en la traducción material de ideas, formas, emociones, relaciones sociales, etc. Los objetos que tenían una función de representación se convirtieron entonces en elementos de la «realidad cotidiana». Según los sociólogos P. Berger y T. Luckmann, los hombres están «*permanentemente rodeados de objetos que «proclaman» las intenciones subjetivas*»[5] de sus semejantes. Dicho de otro modo, las relaciones sociales están codificadas en objetos que tienen una función de representación, lo que confiere a estos últimos una función de ayuda material de la memoria. Yo he estudiado, en particular, las más antiguas representaciones materiales que sirvieron para el adorno personal, aparecidas al principio del Auriñaciense, una cultura que se desarrolló en Europa entre 40 000 y 28 000 años antes del presente.[6] Se trata fundamentalmente de miles de cuentas, de colgantes, de conchas y de dientes. En unos pocos casos, se han encontrado encima de los cuerpos en las sepulturas, pero la mayoría de las veces se encontraban dispersos en los antiguos terrenos de hábitat. Puede parecer evidente que una cueva pintada como la de Lascaux pudo servir en cierto sentido para conservar la memoria cultural, pero, ¿cómo aplicar tal modelo de interpretación a los miles de colgantes utilizados como ornamento del cuerpo humano?

Como explica el etnólogo Andrew Strathern,[7] es esencial comprender los objetos de adorno personal como la ilustración ejemplar de una conjunción entre el gesto y la herramienta que sirven para elaborar y definir materialmente unas categorías sociales. Pero si la vestimenta y el adorno —que son representaciones materiales de la identidad social— constituyen unos elementos esenciales de la memoria social, esto también es verdad para prácticas muy corrientes que permiten elaborar e identificar estas representaciones. ¿Quién de nosotros se da cuenta al vestirse y sin pensar en ello, de los diversos «yo» sociales que creamos por medio de una serie de vestidos y de objetos altamente codificados (por ejemplo los de una rica mujer de negocios neoyorquina)? ¿Y, quién de nosotros es consciente del acto consistente en identificar el estrato social al que pertenece un individuo sin intercambiar una sola palabra con él?

La elaboración material de la identidad social y de los saberes culturales aparece por primera vez en los vestigios arqueológicos que datan de hace unos 40 000 años, en los primeros *Homo sapiens sapiens* europeos, los hombres de Cro-Magnon. Para ilustrarlo me servi-

Las primeras representaciones culturales parecen haber estado destinadas al ornamento. Se trataba de conchas, de cuentas y de colgantes de marfil y de piedra, algunos de los cuales iban cosidos a los vestidos. El emplazamiento de Sungir, en Rusia, ha proporcionado miles de estos ornamentos. Hace 28 000 años, fueron enterrados allí tres individuos, un adulto y dos adolescentes, suntuosamente engalanados con objetos de marfil, colgantes y decenas de collares de cuentas de marfil. Estas cuentas se fabricaban de modo que se imbricasen unas en otras para dar un aspecto estético particular: el esbozo de cuenta se ranuraba por toda su anchura antes de ser perforado. Esta fabricación deriva de una técnica conocida en el mismo periodo en otras regiones de Europa: aparecen ya diferencias culturales, que reflejan sin duda la formación de identidades sociales complejas. (Foto R. White.)

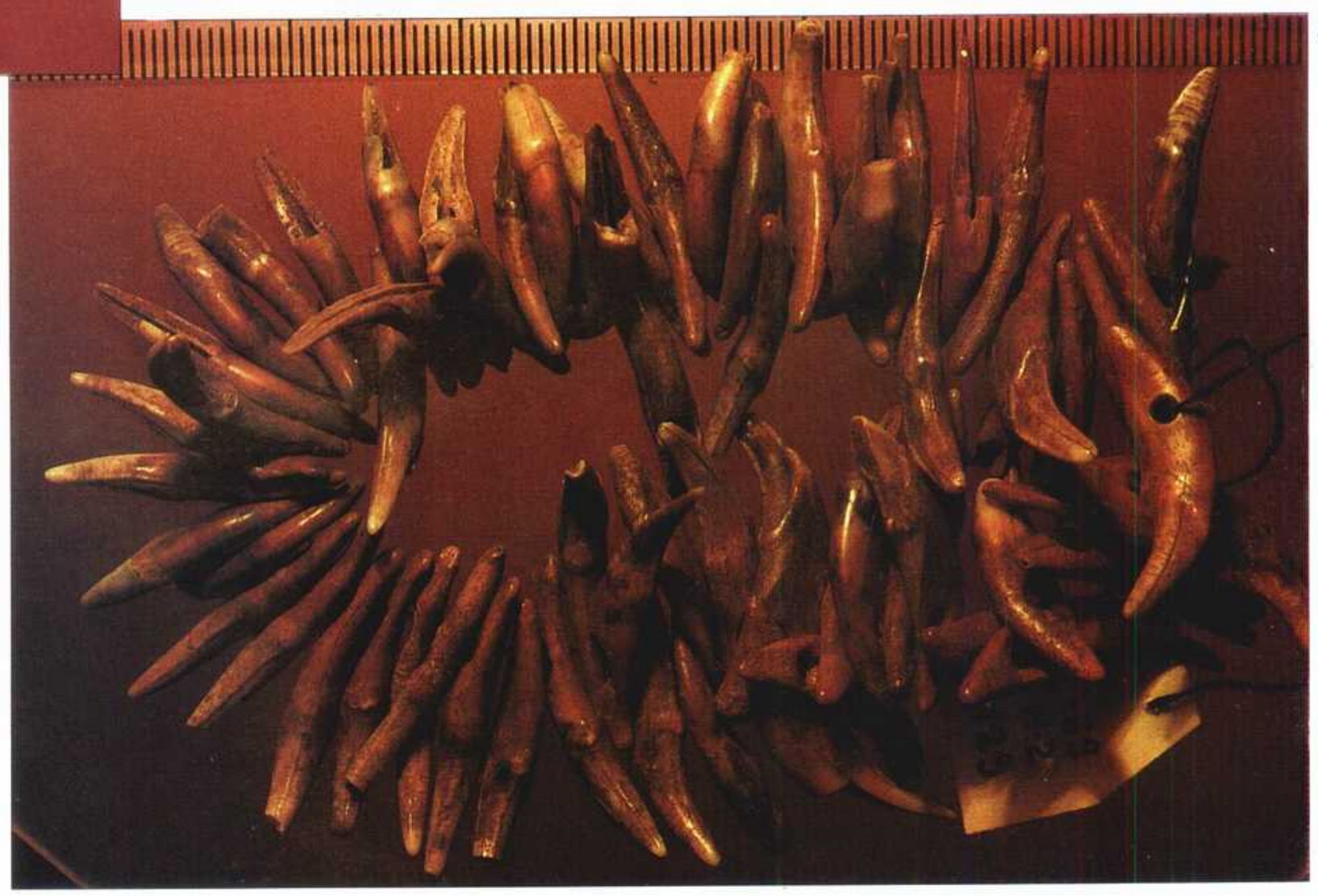
ré de dos ejemplos que se remontan a la época del Paleolítico Superior, el primero en el campo del adorno personal y el segundo en el del arte mural.

En aquella época, los vestidos estaban adornados con miles de cuentas. Las operaciones implicadas en la elaboración material de la identidad social han dejado trazas netas en los vestigios arqueológicos: se pueden identificar la elección y los métodos de obtención de las materias primas, las secuencias propias de la producción técnica y las diferencias regionales. Hace 40 000 años, las materias primas, las cadenas operativas y la forma de los ornamentos variaban según las diferentes regiones de Europa: los adornos del sudoeste de Francia difieren considerablemente de los encontrados en el sur de Alemania, que a su vez son distintos de los descubiertos en Rusia.

Hace unos 28 000 años, los pobladores del emplazamiento de Sungir, situado a 200 kilómetros al este de Moscú, en Rusia, produjeron miles de adornos individuales y un cierto número de esculturas de marfil con formas geométricas y de animales. Surgir, excavado en los años 60-70 por Otto Bader, es uno de los emplazamientos más antiguos en los que se han encontrado ornamentos sobre esqueletos humanos. Durante el periodo de ocupación de este emplazamiento, murieron al menos nueve de sus ocupantes. Según los especilistas rusos en antropología física, entre ellos M. Gerasimov, los vestigios humanos más completos son los de un hombre de sesenta años, de una niña de entre siete y nueve años, y de un chico de unos trece años, a los que se añadirían los restos de un adulto sin cabeza, de sexo indeterminado (¿masculino?) y un cráneo de mujer adulta. Según mi propio estudio de los datos, está claro que el adulto enterrado era un hombre anciano. El sexo de los adolescentes sigue sujeto a controversias.

En total, los tres esqueletos mejor conservados estaban suntuosamente adornados con más de trece mil cuentas de marfil elaboradas con un cuidado extremo y unidas en decenas de collares que quizás estaban fijados a la vestimenta. Aunque es prácticamente seguro que los individuos enterrados en Sungir pertenecían a un mismo grupo social, se aprecian notables diferencias entre ellos gracias a algunos detalles del ornamento de los cuerpos y a las ofrendas funerarias encontradas cerca de ellos. Los antebrazos y los brazos del hombre, por ejemplo, estaban adornados con veinticinco brazaletes de marfil de mamut pulimentado algunos de los cuales presentaban restos de pintura roja y negra. Alrededor del cuello llevaba un pequeño colgante plano de esquisto pintado de rojo, decorado en una de sus caras con un pequeño punto negro. El muchaho llevaba un colgante con forma de animal alrededor del cuello y un cinturón fabricado con más de doscientos cincuenta caninos de zorro. La niña no llevaba dientes de animales, pero en el interior y alrededor de su sepultura se encontraba una serie notable de discos de marfil esculpido. Su esquelo estaba adornado con un número de cuentas prácticamente igual a los del hombre y el muchacho juntos. En cambio, los restos de al menos cuatro de los otros individuos descubiertos en las proximidades no parecen haberse beneficiado de ninguna atención particular.

Experimentos realizados por S. Semenov en los años setenta demostraron que se necesitaba más de una hora para fabricar cada una de las cuentas de marfil de Sungir. Por lo tanto, la fabricación de las cuentas que adornaban el esqueleto del hombre exigió más de tres mil horas de trabajo y la de las cuentas que adornaban a cada uno de los niños más de cinco mil horas. Si también se tienen en cuenta otros objetos situados en y al lado de los cadáveres, está claro que la sepultura de cada niño requirió un trabajo total netamente superior al necesario para la sepultura del hombre. Por lo tanto se puede avanzar legítimamente, a partir de las diferencias entre las ofrendas funerarias y las cantidades de trabajo invertidas en cada una de las sepulturas, la hipótesis de que el sistema social que existía en Sungir era un sistema jerárquico en cuyo seno el estatuto social era de naturaleza hereditaria. En efecto, los jóvenes parecen haber gozado desde su nacimiento de un elevado estatuto social. Lo que signifi-



El estudio de las sepulturas de Sungir también pone de manifiesto la emergencia precoz de sistemas jerárquicos quizás hereditarios. En efecto, los adornos de los dos adolescentes, cuentas, colgantes un cinturón de caninos de zorro (A) en el caso del muchacho y una serie de discos de marfil esculpido (B) en el de la muchacha, habían requerido un trabajo mucho más importante que los adornos del adulto. Esta constatación ha llevado a los prehistoriadores a suponer que aunque estos tres individuos pertenecían al mismo grupo social, las diferencias existentes entre los adornos y las ofrendas funerarias reflejan la existencia de un estatuto social de naturaleza hereditaria. (Fotos R. White.)

(1) A. Leroi-Gourhan, *Le geste et la parole*, Albin Michel, 1964.
(2) P. Connerton, *How societies remember*, Cambridge University Press, 1989.
(3) M. Mauss, *Les techniques du corps. Sociologie et anthropologie*, Presses Universitaires de France, 1968, p. 363.
(4) A. Wiener, *The Trobrianders of Papua New Guinea*, Holt, Rinehart and Winston, 1987.
(5) P. Berger y T. Luckmann, *The social construction of reality*, Anchor Books, 1966.
(6) R. White *Annual Review of Anthropology, 21*, 537, 19.
(7) A. Strathern, *in* M. Kirk (ed.), *Man as art*, Viking Press, 1981, p. 15.
(8) S. Reinach, *Quatre cents siècles d'art pariétal*, Montignac, 1952.
(9) A. Leroi-Gourhan, *Préhistoire de l'art occidental*, Mazenod, 1965.
(10) S. Mithen, *World Archaeology, 19*, 297, 1988.
(11) D. Vialou, *L'art pariétal en Ariège magdalénienne*, CNRS, 1986.

caría que, a diferencia de lo que sugieren habitualmente los prehistoriadores, los sistemas jerárquicos habrían aparecido antes e independientemente de los sistemas económicos basados en la producción agrícola.

La cadena operativa implicada en la fabricación de la principal forma de cuenta encontrada en Sungir es claramente una variante de la técnica de fabricación en serie de cuentas de marfil que data del Auriñaciense (40 000-28 000 antes del presente) y que aparece en otras regiones de Europa, en Francia, Bélgica y Alemania. Sin embargo, en Sungir, cada superficie se ranuraba primero en toda su anchura antes de que se perforase el agujero, lo que hacía que, una vez enfiladas, las cuentas se engranasen unas en otras produciendo un notable efecto visual. Dicho de otro modo, el efecto estético buscado estaba profundamente, y probablemente de manera inconsciente (habitus), imbuido desde las primeras fases de la cadena operativa. Estas diferencias proporcionan una visión de la red compleja de identidades sociales que constituían el edificio social en los inicios del Paleolítico superior en el norte de Rusia. Desde un punto de vista más sociogeográfico, Sungir también ilustra las diferencias existentes en las técnicas de producción de ornamentos y entre las estéticas culturales de una región a otra, lo que va en el sentido de la hipótesis de una emergencia rápida de unidades étnicas, incluso territoriales, desde los inicios del Paleolítico superior en Europa.

Desde hace ya un cierto tiempo, los prehistoriadores han abandonado la explicación llamada del «arte por el arte» en relación con el arte mobiliario y mural producido por las poblaciones del Magdaleniense entre 18 000 y 11 000 años. Tanto si se acepta el punto de vista de Salomon Reinach y Henri Breuil[8] que definen el arte paleolítico como una práctica mágica relacionada con la caza, como el de André Leroi-Gourhan[9] cuando habla del mitograma, e incluso las interpretaciones recientes de Steven Mithen, de la universidad de Cambridge, que lo describe como una reserva de conocimientos prácticos sobre el medio (véase «El arte de los cazadores paleolíticos», *Mundo Científico*, nº 117, octubre, 1991),[10] la suma enorme de trabajo, de innovación tecnológica y de creatividad que representa este arte implica necesariamente que haya desempeñado un papel fundamental en la producción social y material de las sociedades. La construcción de un andamiaje, la puesta a punto de técnicas de tratamiento térmico para obtener los pigmentos deseados, la utilización de ligantes y de diluyentes en la preparación de las pinturas, son otros tantos elementos que abogan en favor de la hipótesis según la cual las poblaciones del Magdaleniense en Lascaux, hace 17 000 años, consideraban este arte como esencial para su supervivencia. Pintar, grabar, preparar los pigmentos, fabricar y aprovisionar lámparas y antorchas requería tiempo, que se habría podido dedicar a procurarse alimentos, a edificar abrigos, recoger combustible y confeccionar vestimentas cálidas. Por tanto, el «arte», lejos de ser una diversión reservada a los momentos de ocio, cumplía un cierto número de funciones sociales y tecnológicas esenciales en las culturas de los hombres de Cro-Magnon del final del periodo glaciar.

El arte paleolítico, evocado aquí por la «escena de los pozos» de Lascaux, cumplía seguramente unas funciones sociales y tecnológicas esenciales para los magdalenienses. La inversión en tiempo y en conocimientos que representa sólo se puede comprender si se admite que este arte es sobre todo un método mnemotécnico de transmisión de modos operativos de pensamiento de una generación a otra. (Foto J. Vertut.)

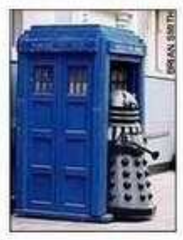
El concepto de cadena operativa se puede aplicar tanto a la elaboración de pinturas murales que tenían un valor simbólico como a la de adornos que tenían un significado social. Según Denis Vialou del Instituto de paleontología humana (París), la composición de las figuras en las paredes de las cuevas transformaba el medio subterráneo en una construcción simbólica.[11] La creación de composiciones pictóricas organizadas en el espacio se puede describir completamente como producto del habitus, ya que se trata de un medio mnemotécnico de consolidar y transmitir modos operativos de pensamiento de una generación a otra.

Los etnólogos han podido observar desde hace tiempo que los animales y sus características biológicas y sociales se utilizan como metáforas de rasgos humanos distintos, fundamentalmente porque permiten hacer inteligible la complejidad inextrincable de la existencia humana. El ambiente inquietante y fuertemente sensualizado de las cuevas era el lugar ideal para fijar perdurablemente el recuerdo de unos compendios culturales tan profundos y complejos.

En suma, las imágenes materiales, tanto si se trata de de adornos cuidadosamente elaborados como de conjuntos pictóricos de animales en el fondo de misteriosas cavidades, constituían potentes medios de codificar, almacenar y transmitir los conocimientos culturales de una generación. Al igual que los recuerdos, las imágenes estaban suficientemente estructuradas, eran suficientemente recurrentes y previsibles como para servir de infraestructura mnemotécnica a los sistemas culturales del Paleolítico superior. ■

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

«ASTRONAUTAS EN UN SUBMARINO»

DESDE HACE POCO MÁS DE UN AÑO, ESPAÑA CUENTA CON UN CENTRO PARA DIAGNÓSTICO E INVESTIGACIÓN EN SANIDAD ANIMAL, DOTADO DE LO QUE SE CONOCE COMO «ZONA DE ALTA SEGURIDAD BIOLÓGICA», SUMÁNDOSE ASÍ A LOS YA EXISTENTES EN ESTADOS UNIDOS, REINO UNIDO, ALEMANIA, HOLANDA Y AUSTRALIA.

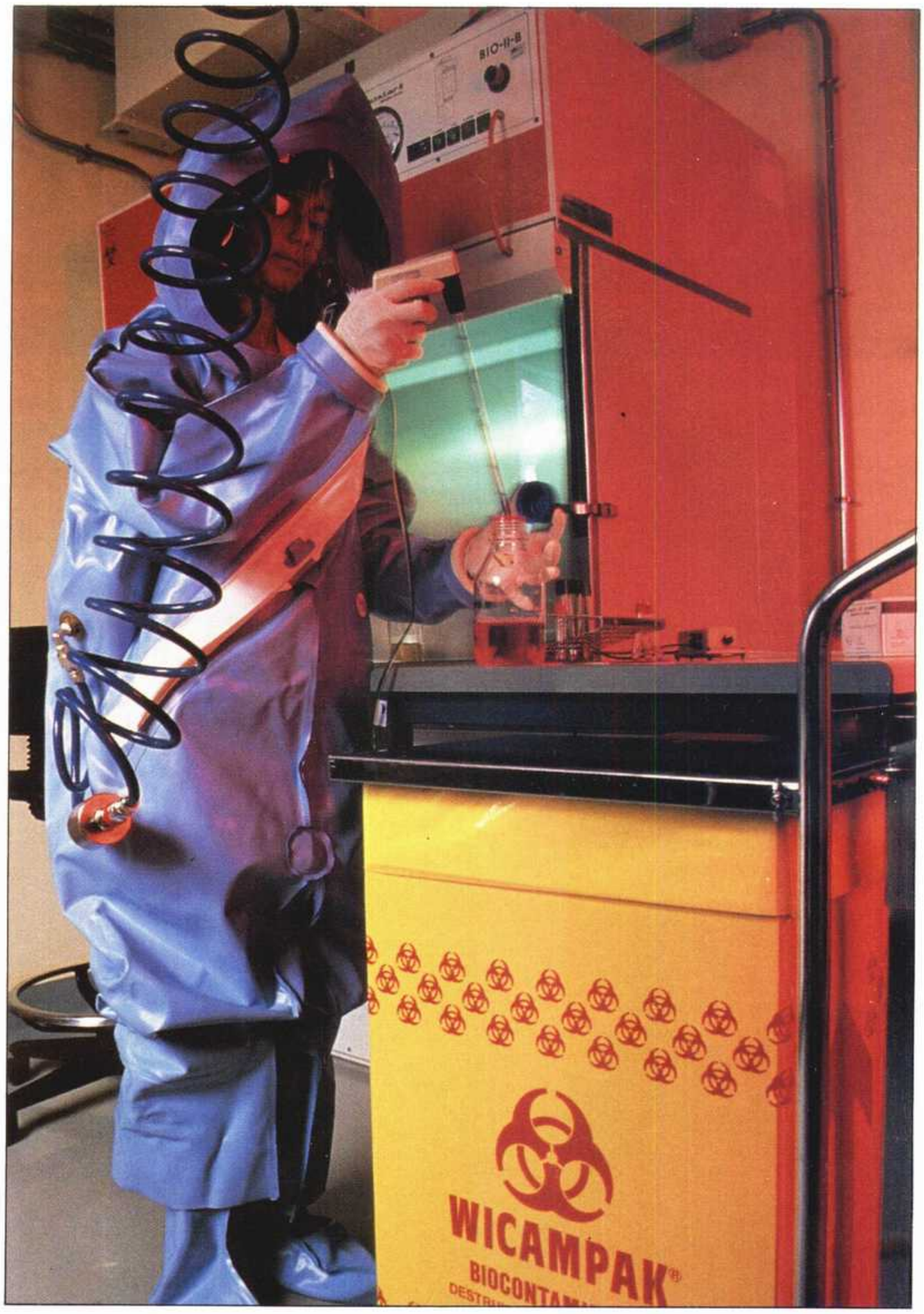


Figura 1. La única forma de trabajar en estos laboratorios —los de nivel de seguridad 4— es protegido por este hermético traje al que se le inyecta aire desde el exterior. (Foto: Dusko Despotovic.)

Los centros para diagnóstico e investigación en sanidad animal, equipados con los más modernos sistemas de seguridad, permiten el trabajo con agentes altamente infecciosos y/o exóticos. Para conseguir la manipulación sin riesgos de estos agentes, se han conjugado varios elementos dependientes entre sí: el diseño de una instalación hermética, la incineración o esterilización de todos los residuos y una gran disciplina en las personas que allí trabajan.

El Centro de Investigación en Sanidad Animal (CISA), situado en el madrileño pueblo de Valdeomos, a 40 km de la capital, ha sido creado como la respuesta española ante la imperiosa necesidad de establecer un control más cercano a las exigencias europeas de nuestra sanidad animal. A medida que aumenta el tránsito de personas, animales vivos y mercancías con otros países, lo hace también el riesgo de introducción en España de enfermedades exóticas para nuestra fauna. Por otra parte, en el área de la producción ganadera, la implantación de Mercado único europeo otorga a España la responsabilidad de salvaguardar sanitariamente su propio territorio y el del resto de la Unión Europea.

En otro orden de cosas, el auge en la exportación de productos ganaderos altamente competitivos, como son los derivados del cerdo o el floreciente mercado de exportaciones del caballo español, han elevado aún más las exigencias del control sanitario.

Existen numerosas actividades en diferentes áreas que el Centro realiza paralelamente. Por ejemplo, se cuenta con un área de toxicología del medio ambiente en la que se estudian nuevas técnicas de valoración ecotoxicológica. Pero las áreas sobre las que nos centraremos son las que se hallan dentro de la denominada «zona de alta seguridad biológica» que es por lo que principalmente se caracteriza este Centro. Esta ocupa un total de casi 11 000 metros cuadrados, distribuidos en 44 laboratorios, un animalario, una cafetería, una sala de reuniones, la lavandería y las plantas técnicas.

Desde luego hay dos preguntas que se imponen a cualquiera que se adentra en este edificio de alegres colores, el cual, por otro lado, no deja de sugerirnos el estar en un submarino de enormes dimensiones cerrado herméticamente con nosotros en su interior. ¿Cómo se logra proteger uno trabajando a tan altos niveles de contaminación? y ¿cómo se logra mantener aislada toda esta contaminación del resto del mundo exterior.

Las respuestas no tardan en amontonarse ante nosotros nada más traspasar el umbral de la puerta codificada de entrada. En los vestuarios dejamos toda nuestra ropa y objetos personales. Nada está permitido entrar al Centro y nada está permitido sacar al exterior. Atravesando un torno, completamente desnudos, nos encontramos con nuevas taquillas en las que está preparada la ropa de trabajo de colores diferentes según la misión de cada persona: blanco para laboratorios, verde para animalario, na-

ranja para seguridad biológica, amarillo para mantenimiento y azul para limpieza. La salida del Centro también se efectuará por el mismo sitio, aunque el proceso será a la inversa. Nos despojamos de toda la ropa de trabajo que quedará en el interior para ser lavada, y no podremos acceder a la nuestra hasta haber pasado previamente por unas duchas con cerradura automática, que sólo se abrirá una vez transcurrido el tiempo de lavado personal mínimo prescrito por las normas de seguridad biológica (3 minutos).

La primera barrera arquitectónica que hemos atravesado, a la vez que nos cambiamos de ropa, es de la presión relativa negativa. Todo el edificio se halla en depresión con respecto a la presión atmosférica, existiendo varios niveles de depresión según el grado de contaminación de las diferentes zonas. De esta manera, se mantiene constantemente un flujo de aire cuya dirección es siempre desde áreas menos contaminadas a las más contaminadas. La comunicación con el exterior (puertas de emergencia, vestuarios, entradas de mercancías) se efectúa a través de puertas herméticas. El máximo nivel de seguridad biológica se localiza en dos laboratorios construidos en el centro del edificio: son los llamados laboratorios de nivel 4, grado máximo de contención en instalaciones de alta seguridad. En éstos se trabaja con virus que producen zoonosis, es decir, enfermedades que se transmiten entre los animales y el hombre. Además, el aire de salida al exterior es doblemente filtrado y el investigador ha de proveerse de un traje de respiración asistida, que nos recuerda a los trajes espaciales.

Otra manera de evitar que se produzca una salida de virus al exterior es la filtración del 100 % de aire de salida, a través de unos filtros denominados HEPA (*High Efficiency Particulate Air*), que son capaces de filtrar hasta un 99,9 % el flujo de aire que los atraviesa.

También es necesario controlar la salida de efluentes. Para ello, el Centro cuenta con tres tanques de 40 000 litros cada uno, en los que se tratan térmicamente todos los residuos líquidos que se generan, desde el agua desechada en los cuartos de baño hasta el que sirve para lavar la ropa.

Todos estos procesos técnicos (temperatura, funcionamiento de los filtros, climatización, depresión) son controlados desde un ordenador central, el cual es a la vez el «cerebro» y el «corazón» del edificio. Si, por ejemplo, el ordenador «detecta» que la depresión se ha descompensado en los laboratorios (porque es un día de mucha actividad y se están continuamente abriendo y cerrando puertas), rápidamente se pone en marcha para que los ventiladores de extracción trabajen a mayor ritmo y equilibren el desajuste. Asimismo, se dispone de un programa de mantenimiento preventivo, de manera que a diario los ordenadores emiten un listado de las instalaciones que es necesario revisar.

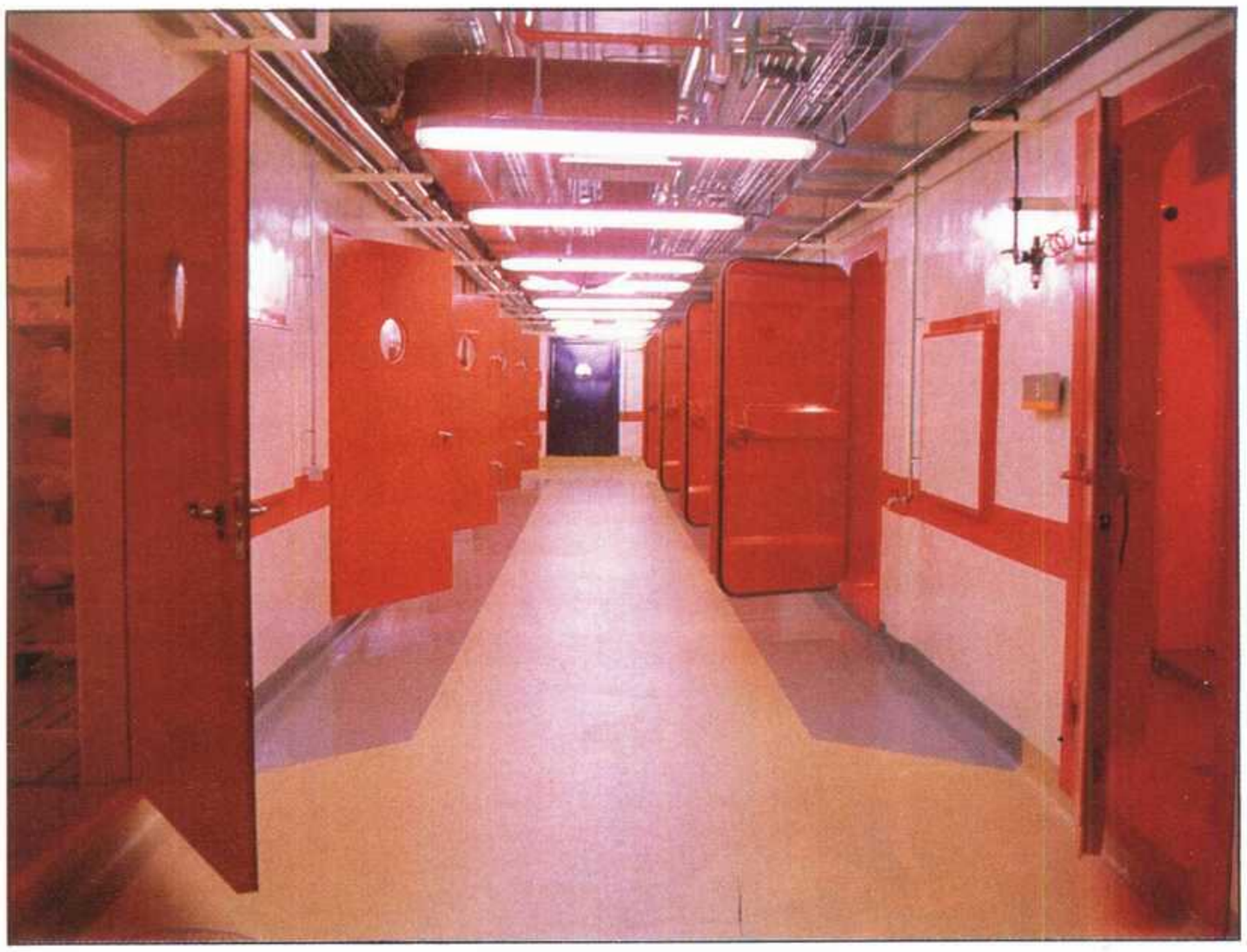


Figura 2. Vista panorámica de la zona de «animalarios», la cual más bien parece un submarino. (Foto: Dusko Despotovic.) ▲

Figura 3. En la zona de «toxicología del medio ambiente» se utilizan varias especies-test para el estudio de la contaminación de los suelos. (Foto: Dusko Despotovic.)

Por otra parte, el ambiente en el edificio se mantiene «limpio» constantemente, pues la manipulación con virus está permitida únicamente en cabinas de flujo laminar que protegen tanto al individuo como al material biológico.

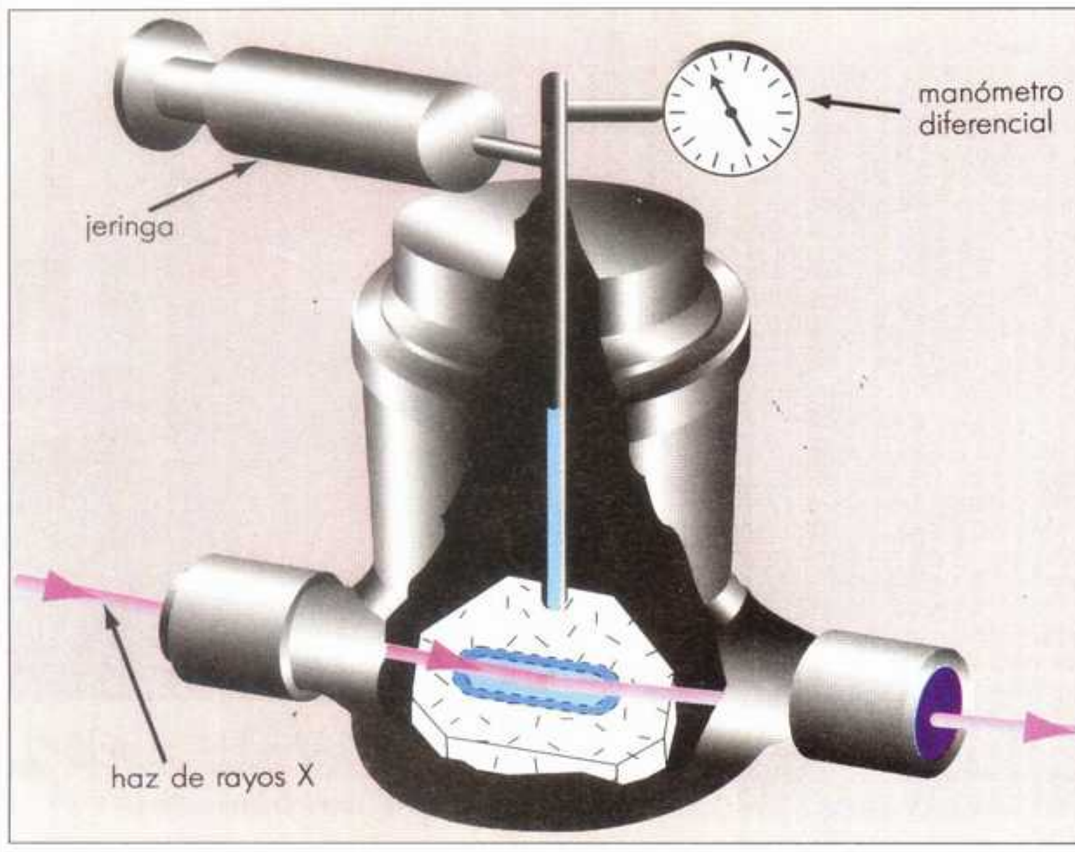
Finalmente, es importante resaltar el tratamiento que sufren los residuos sólidos. Nada sale al exterior sin que sea incinerado o descontaminado. Para este fin el CISA dispone de un incinerador propio, ubicado junto a la sala de necropsias, y de toda una serie de sistemas, entre los que destacan autoclaves de vapor y de óxido de etileno, cámaras de descontaminación superficial, etc.

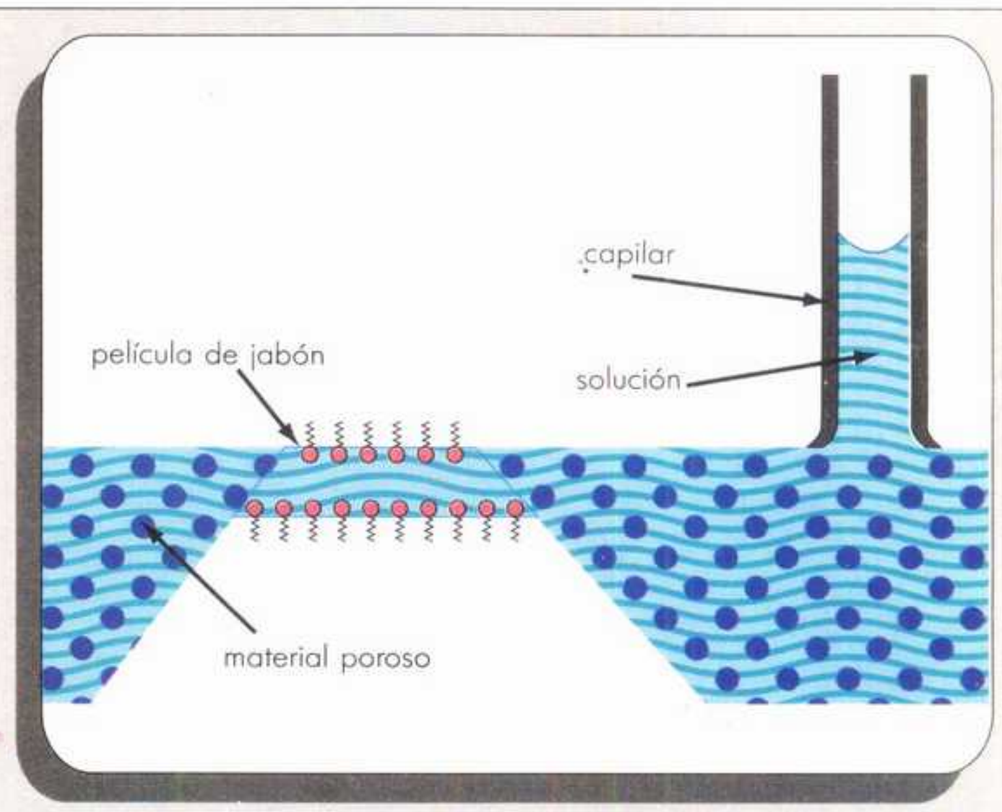
Todas estas medidas de seguridad serían insuficientes y el sentido mismo de un trabajo científico, meticuloso y esmerado, se vería abortado completamente sin la rigurosa disciplina que se autoimponen día a día todos los «astronáuticos» miembros de este peculiar «submarino» en tierra firme.

DUSKO DESPOTOVIĆ
Y MARÍA LUISA SARAZÁ

EXPLORAR LAS PELÍCULAS DE JABÓN

MEDIR LAS PRESIONES QUE SE EJERCEN EN UNA PELÍCULA DE JABÓN ULTRADELGADA A LA VEZ QUE SE DETERMINA SU ESTRUCTURA: UNA NUEVA TÉCNICA DE ESTUDIO DE LAS MEMBRANAS FLUIDAS Y DE SUS FUERZAS INTERNAS.





Los autores del artículo, del Centro de estudios de Saclay, han medido la «presión de disyunción» de una película de jabón en función del espesor de ésta. En el dispositivo experimental, la película se apoya en un marco de materia porosa embebida de agua jabonosa. A este material está unido un capilar. Cambiando la presión del capilar por medio de una jeringa, se modifica a voluntad el espesor de la película. La presión de disyunción, esto es, la presión debida a las fuerzas interiores de la película, se determina midiendo la sobrepresión impuesta por la jeringa y restándole la presión hidrostática (debida al peso de la columna de líquido en el capilar) y la presión de Laplace (debida a la curvatura de la superficie líquida). El espesor de la película, y más generalmente su estructura, se obtiene dirigiendo un haz de rayos X bajo incidencia rasante y analizando el haz reflejado. Este método permite explorar las fuerzas intermoleculares que se ejercen a corta distancia (menos de una decena de nanómetros), que son mal conocidas cuantitativamente. También podría aplicarse al estudio de membranas de estructura más compleja, o incluso de membranas biológicas.

Las burbujas de jabón son algo más que un motivo de juego para los niños. Las películas de agua jabonosa constituyen un prototipo de membranas formadas por una doble capa de moléculas orgánicas. Tales estructuras son muy comunes y juegan un importante papel, tanto en el mundo inerte, por ejemplo en las emulsiones, como en el mundo viviente con las membranas celulares.(1) El estudio de las membranas fluidas es particularmente intenso en la actualidad y se plantean numerosas cuestiones relativas a la estabilidad, a la estructura y a las interacciones de tales edificios. El método que hemos utilizado en el Centro de estudios de Saclay (Commissariat à l'energie atomique) constituye una herramienta prometedora, ya que permite imponer y medir presiones que se ejercen sobre la película de jabón y, a la vez, determinar su estructura.(2) Es posible, entonces, estudiar el vínculo entre la mecánica íntima de una membrana y su arquitectura, así como sondear las fuerzas que se ejercen entre los distintos estratos de la película. A largo plazo, es posible que este método permita comprender mejor los fenómenos complejos que tienen lugar en las membranas biológicas.

Una película de jabón o de tensioactivo es una membrana formada por dos capas paralelas de moléculas anfífilas (dotadas de una parte hidrófila y de otra hidrófoba) y por el agua que queda atrapada en sandwich entre ambas. Al drenar el agua contenida en la película, el espesor de ésta disminuye. Cuando se vuelve muy pequeña ante las longitudes de onda de la luz visible, la luz ya no es reflejada y se dice que la película es negra. ¿Cómo estudiar la estructura de una película tan delgada? Se dirige hacia la película, en incidencia rasante, un haz de rayos X y se analiza el haz reflejado. La ventaja crucial es la corta longitud de onda de los rayos X (del orden del angström), que permite sondear detalles de las mismas dimensiones. Así fue como en 1991 establecimos la estructura detallada de la película negra.(3,4) Resultó, en particular, que las dos capas de jabón están separadas por un único estrato de moléculas de agua unidas a los extremos hidrófilos, todo ello formando una película ultradelgada (33 angströms para el dodecisulfato de sodio).

Pero no todo se reduce a conocer la arquitectura de una membrana. Otro aspecto importante, que hay que vincular al aspecto estructural, concierne a las fuerzas intermoleculares que actúan dentro de la película. Entre dichas fuerzas, que resultan de interaccciones electromagnéticas entre las nubes electrónicas de las moléculas, las de corto alcance, de menos de diez nanómetros, todavía son mal conocidas, ya que son difíciles de calcular y de medir.

Sin duda, hay algunas técnicas experimentales que permiten estudiar dichas fuerzas.(5,6,7) Pero la peculiaridad de nuestro método consiste, de una parte, en utilizar una película negra, sistema de arquitectura bien definida, y, de otra, en determinar simultáneamente la estructura de la película (mediante la técnica de reflectividad de los rayos X en incidencia rasante)(3) y su «presión de disyunción».(8) Esta última es la presión interna de la película una vez descontada la contribución de la presión hidrostática. En los años 1970 se sabía ya cómo determinar la presión de disyunción de una película negra,(9,10) pero la explotación de dichas medidas exige conocer con gran precisión el espesor de la película. El espesor se determinaba con técnicas de óptica clásica, razón por la cual la precisión sólo era satisfactoria para películas bastante gruesas (cientos de angströms). El recurso a los rayos X, por contra, nos permite alcanzar

una precisión de 0,5 angström. Nuestros experimentos se han llevado a cabo con un difractómetro de rayos X especialmente diseñado para estudiar las superficies líquidas, realizado por las sociedades Microcontrole y Enraf-Nonius. El ángulo de incidencia puede controlarse con una precisión de una diezmilésima de grado. El análisis de los datos obtenidos permite construir un modelo preciso de la bicapa con el espesor y la densidad de cada uno de los estratos que la componen (medio hidrófobo, medio hidrófilo, capa de agua, etc.).

Por lo que respecta a la presión de disyunción, nuestro método consiste en formar una película de jabón apoyada en un marco de material poroso (vidrio sinterizado) embebido de solución y conectado a un capilar (véase la figura). Modificando la presión del capilar por medio de una jeringa, se puede aumentar o reducir a voluntad el espesor de la película; tal cosa equivale a inyectar o aspirar el agua comprendida entre las paredes de la bicapa. La presión aplicada, permite cuantificar las interacciones que tienen lugar en la película.

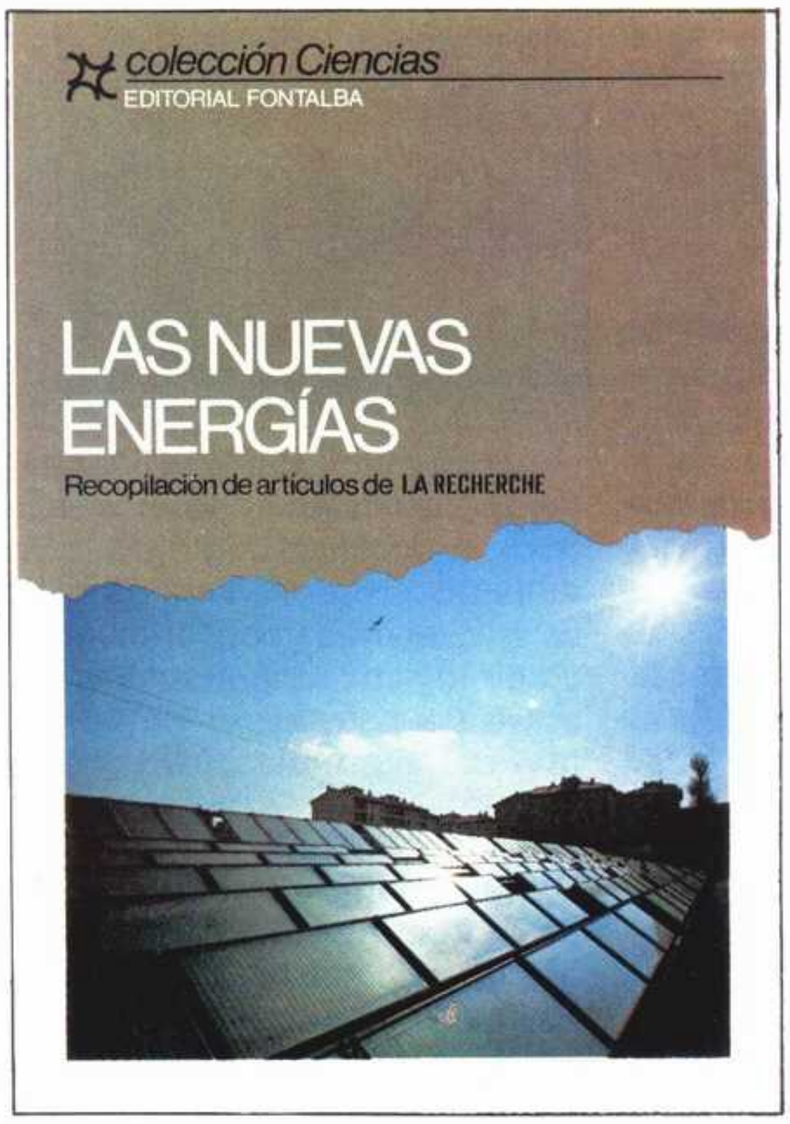
Para deducir de estas medidas las fuerzas de corto alcance, hay que calcular las contribuciones bien conocidas (fuerzas de Van der Waals y fuerzas electrostáticas), determinar la presión hidrostática y descontarlas de la presión de la película (la cual, en el equilibrio, es igual a la presión atmosférica). Repitiendo las medidas con distintos valores de la presión aplicada, se puede explorar, en una gama de espesores comprendida entre 30 y 1 000 angströms, la relación entre las fuerzas internas de las películas negras y la arquitectura de estas últimas.

Nuestros primeros resultados se refieren a un tensioactivo no iónico especialmente estable, el C12E6 (hexaetilenoglicolmonododeciléter) en solución.(2) La vida de las películas es de varias semanas, tiempo suficiente para verificar el funcionamiento de nuestro dispositivo experimental y demostrar la viabilidad del método. Un método, por lo demás, que no carece de perspectivas. Por ejemplo, aplicándolo a sistemas cada vez más complejos, como películas negras que contengan polímeros o proteínas, se podrá ir abordando el caso de las membranas biológicas, cuya estructura es muy rica. No obstante, aunque se dispone así de un nuevo método de estudio simultáneo de las interacciones y de las estructuras de las películas negras, queda todavía un considerable trecho hasta llegar a medir, y sobre todo describir, estas fuerzas sutiles y múltiples que se ejercen a distancias nanométricas.

JEAN-JACQUES BENATTAR Y AUDE SCHALCHLI

colección Ciencias

LAS NUEVAS ENERGIAS



La crisis ha llevado a un desarrollo masivo de las investigaciones sobre las fuentes y los medios de producción de energia cada vez más diversas.
Los conocimientos y proyectos actuales de la investigación sobre las nuevas energias.

Formato: 21 × 14,5 cm.
Páginas: 274
Fotografias e ilustraciones

P.V.P.: 1166 ptas.

ISBN: 84-85530-41-1

Las energías fósiles: La energia geotérmica / La geotermia de «baja energia» / El petróleo y el carbón / La génesis del petróleo / Encontrar petróleo gracias a la deriva continental / El carbón del año 2000 / Cuando el carbón está a demasiada profundidad

La energía nuclear: La seguridad de las centrales nucleares / Los reactores de neutrones rápidos, los regeneradores / Los reactores nucleares de alta temperatura / La fusión nuclear.

Las nuevas energías: La energia del Sol / La energia solar en Francia ante el año 2000 / Las centrales solares / La energia solar fotovoltaica / La energia de los mares / La energia térmica marina / La energia de las olas / La energia del viento / La energia eólica / La energia verde / La utilización de los residuos agricolas

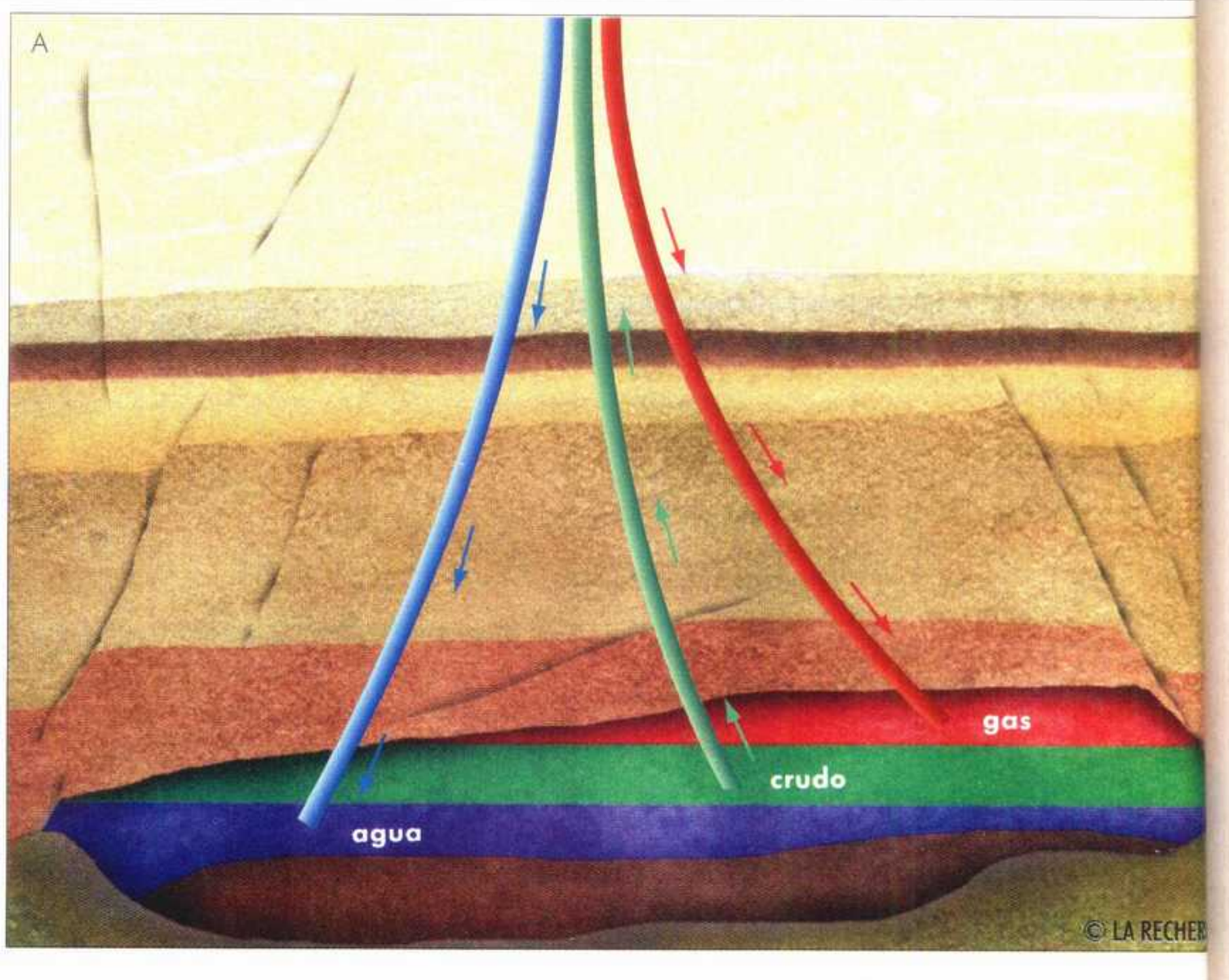
Pidalo a su librero o contrarrembolso a:

Editorial Fontalba, s.a. Valencia, 359, 6º 1ª Barcelona 08009 (España)

(1) R.C. Warren, *Physics and the architecture of cell membranes*, Adam Hilger, 1987.
(2) A. Schalchli *et al.*, *C.R. Acad. Sci. Paris*, a publicar, 1994.
(3) O. Bélorgey y J.J. Benattar, *Phys. Rev. Lett.*, 66. 313, 1991.
(4) J.J. Benattar *et al.*, *J. Phys. I France*, 2, 955, 1992.
(5) J. Israelachvili, *Intermolecular and surface forces*, 2ª ed., Academic Press, p. 164.
(6) R.P. Rand y V.A. Parsegian, *Biochimica et Biochimica Acta*, 988, 351, 1989.
(7) E.A. Evans, *Biophys. J.*, 31, 425, 1980.
(8) B.V. Derjaguin y N.V. Churaev, *J. Colloid Interface Sci.*, 3, 389, 1978.
(9) K. Mysels y M.N. Jones, *Discuss. Faraday Soc.*, 42, 42, 1966.
(10) D. Exerowa y A. Scheludko, *C.R. Acad. Bulg. Sci.*, 24, 47, 1971.

LAS BACTERIAS DE LOS YACIMIENTOS PETROLÍFEROS

ALGUNOS YACIMIENTOS DE PETRÓLEO ENCIERRAN UNA FLORA BACTERIANA PROPIA. UNA PRUEBA MÁS DE LA FANTÁSTICA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN DEL SER VIVO.

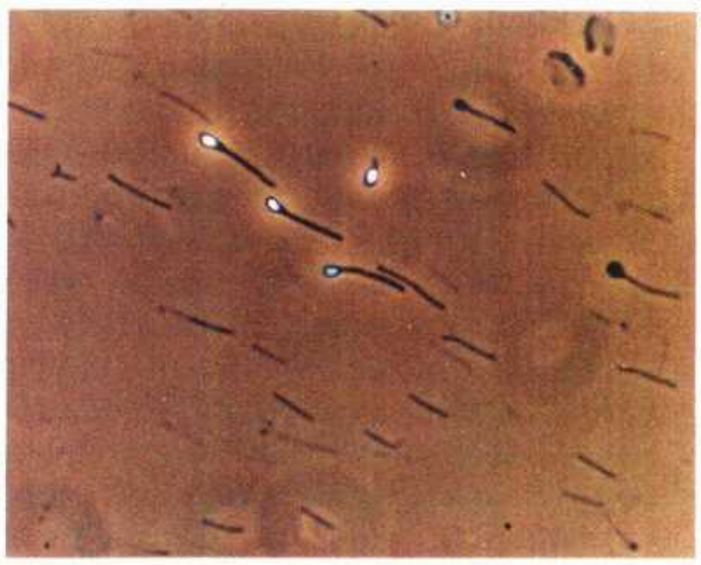


Hace entre centenares y decenas de millones de años, algunas bacterias tuvieron un papel fundamental en la transformación de gigantescas cantidades de materia orgánica, cuyo resultado fue la acumulación de las reservas petrolíferas que actualmente estamos explotando. Hace ciento treinta y cinco años, el coronel Drake efectuaba el primer sondeo comercial en Pennsylvania, con lo que abrió una nueva era industrial en los campos de la energía, la química y los materiales de síntesis. Desde entonces, los ingenieros y los técnicos del petróleo siempre han tropezado con el mundo microbiano que, desafortunadamente, suele causarles graves preocupaciones. En efecto, las bacterias presentes en los pozos corroen el acero y ponen en peligro la seguridad de los agentes de explotación: en ausencia de oxígeno, utilizan el sulfato (SO_4^{2-}, que absorben en el medio, produciendo sulfuro de hidrógeno (H_2S) («souring» de los yacimientos). Este gas, de olor nauseabundo, es extremadamente corrosivo y tóxico.

¿Cuál es el origen de estas bacterias? Para estimular la productividad de un yacimiento, se inyecta agua en la formación geológica, con lo cual se restablece la presión original *in situ* y se drena el crudo hacia los pozos productores (véase la figura). ¿Se introdujeron las bacterias en los yacimientos y las instalaciones de producción a través de este proceso de inyección, o bien los causantes fueron el sondeo o el equipo de los propios pozos? ¿Existían ya cuando empezaron a explotarse las reservas de petróleo? ¿Representan una flora «indígena», una vía subterránea aislada desde hace millones de años en los acuíferos, asociados o no a acumulaciones de hidrocarburos? Esta última hipótesis se ve apoyada por varios estudios microbiológicos recientes de aguas de yacimientos petroleros[1,2,3] y de acuíferos profundos no relacionados con hidrocarburos.[4,5]

Desde los años 1920, el equipo de E.S. Bastin, un microbiólogo norteamericano de la universidad de Chicago, había demostrado que las bacterias sulfatorreductoras son frecuentes, muchas veces incluso abundantes, en las muestras procedentes de pozos petrolíferos.[6] Bastin apuntó la hipótesis de que estas floras bacterianas ya estaban originalmente presentes en los yacimientos. Luego, la cuestión del origen de las bacterias raramente se ha considerado, puesto que las observaciones eran insuficientes. Hubo que esperar a 1989 para que la idea de bacterias específicas de los depósitos naturales de petróleo apareciera explícitamente en el título de un artículo publicado por unos investigadores de las firmas DuPont de Nemours y Conoco.[7]

El mismo año, en Francia, Elf Aquitaine iniciaba un nuevo programa de microbiología petrolera en nuestro centro de investigaciones biotecnológicas de Labège, cerca de Toulouse. Este programa continúa hoy con la colaboración de los laboratorios de microbiología del Instituto universitario de biología marina de Arcachon y del Orstom de Marsella, además del apoyo del grupo de geoquímica orgánica de Elf Aquitaine Production, de Pau. Su objetivo es evaluar la distribución de las floras bacterianas en los yacimientos, identificarlas



En la explotación de yacimientos petrolíferos, a veces se inyecta agua en la formación geológica con el fin de mantener la presión inicial de la producción. En A, se ve, por ejemplo, el esquema simplificado de un yacimiento en el cual las diferentes capas están impregnadas de gas (en rojo), petróleo (en verde) o agua (en azul). En estos yacimientos, la flora bacteriana suele estar muy diversificada y es parecida a la de las aguas dulces de superficie, sin que se pueda saber si tales bacterias son originarias del yacimiento o del exterior. Pero, si no hay inyección, los investigadores pueden descubrir unas bacterias específicas de los yacimientos petrolíferos. Es el caso de ciertas bacterias sulfatorreductoras (transforman el sulfato en sulfuro de hidrógeno), de las que en B se ve una especie desconocida hasta su descubrimiento en un pozo de petróleo de la cuenca parisiense. Estas nuevas bacterias podrían dar origen a aplicaciones interesantes, por ejemplo, la biodegradación de los hidrocarburos. Generalmente, plantean a los investigadores el problema de su origen, de los mecanismos de su adaptación a un medio tan especial o de sus relaciones con las bacterias que propiciaron la formación del petróleo, hace de ello centenares de millones de años. (A: según Elf Aquitaine Production; B: M. Magot.)

y ver si existe relación entre estos grupos bacterianos y los efectos nefastos observados en las instalaciones de producción.

Para ello, entre 1989 y 1993, nuestros equipos recogieron setenta y una muestras de aguas de producción en pozos de explotación situados en Francia (Alsacia, cuenca aquitana, cuenca parisiense), África (Camerún, Congo) y mar del Norte. La edad geológica de los niveles productores varía entre el triásico y el terciario, es decir, entre 220 y 35 millones de años. Aproximadamente la mitad de estas muestras no contenía bacterias capaces de desarrollarse en las condiciones de temperatura y de salinidad del yacimiento. Eran muestras estériles que se distribuían en tres grupos. El primero lo constituían todas aquéllas cuya temperatura *in situ* era superior a los 82 °C. Esta temperatura es la que citaba G.T. Philippi, de la compañía petrolera Shell, en 1977: más allá, no se observó ningún caso de biodegradación del petróleo en los yacimientos.(8) El desarrollo de bacterias en los yacimientos y la degradación en ellos del crudo podrían, por tanto, ser fenómenos interrelacionados.

Algunas bacterias, sin embargo, pueden desarrollarse a temperatura más alta. Así, el grupo de K. Setter, de Alemania, asociado a investigadores de BP, descubrió, en 1993, unas bacterias que vivían por encima de los 100 °C en los yacimientos del mar del Norte.(9) Pero estos investigadores atribuyen dicha presencia a las aportaciones a dichos yacimientos, en forma de inyección de agua de mar, de microorganismos procedentes de las fuentes hidrotermales oceánicas, conocidos por su tolerancia a las altas temperaturas. Es una interpretación que parece indicar que estas bacterias migraron varios miles de kilómetros, desde las fosas abisales hasta los puntos de bombeo del agua de mar.

BACTERIAS ORIGINALES QUE PODRÍAN AYUDAR EN LA LUCHA CONTRA LOS HIDROCARBUROS CONTAMINANTES

El segundo grupo de yacimientos desprovistos de bacterias comprende todos aquéllos en los cuales la combinación de temperaturas elevadas (por encima de los 50 °C) y de salinidades superiores a la del agua de mar constituye una barrera difícilmente franqueable para la vida bacteriana. En cuanto al tercer grupo de yacimientos estériles, sus condiciones fisicoquímicas son parecidas a las de otros yacimientos en los que se han descubierto bacterias. Por esto, la ausencia de comunidades bacterianas en estas aguas se interpreta como el resultado de su paso por temperaturas más elevadas, debido al enterramiento de los sedimentos, seguido de su modificación tectónica. Esta elevación transitoria de temperatura habría, simplemente, esterilizado el medio.

La otra mitad de nuestras muestras estaba formada por aguas de producción en las que se halló una comunidad bacteriana. Dos de dichas muestras provenían de yacimientos poco profundos (500 m) y, por tanto, de baja temperatura local (aproximadamente 30 °C), con acuíferos débilmente salados y producidos por inyección de agua. Los grupos bacterianos de estos yacimientos están muy diversificados y globalmente son parecidos a los de las aguas dulces de superficie (géneros *Bacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Curtobacter*, etc.). Es imposible hacer aquí la distinción entre la flora indígena y la flora de origen exógeno, presentes en el agua de inyección. En una situación inversa, constatamos que los yacimientos que no habían recibido agua de inyección (yacimientos «no inyectados»), con una temperatura y una salinidad más elevadas (a partir de 60 °C o de 100 gramos por litro de sales totales), albergan una flora bacteriana específica, compuesta solamente por algunas especies. Por ejemplo, en el caso de un yacimiento con 105 g/l de sales, a 30 °C *in situ*, la flora sólo está compuesta por dos especies metanógenas y una bacteria fermentaria del género *Halobacteroides*. Ninguna de ellas había sido descrita anteriormente.

En el caso de los yacimientos no inyectados, todas las bacterias únicamente pueden desarrollarse en ausencia de oxígeno (son anaerobias estrictas). Sus exigencias en cuanto a temperatura y salinidad, determinadas midiendo su velocidad de crecimiento cuando estos parámetros varían, corresponden muy exactamente a las condiciones halladas en los yacimientos. Estos caracteres específicos indican su perfecta adaptación al ecosistema petrolero. Además, la mitad aproximadamente de los organismos que recogimos son originales(10,11) (véase la figura), y varias veces observamos que algunas características metabólicas y genéticas difieren incluso entre cepas bacterianas muy parecidas, presentes en una misma muestra. Tales diferencias sólo pueden indicar la utilización de uno o dos nutrientes, o bien una característica mínima de las «huellas genéticas» de sus genes.(12) Esta variabilidad recuerda los fenómenos de especiación que aparecen en los ecosistemas cerrados. Todas estas observaciones sugieren que las bacterias en cuestión han habitado ecosistemas aislados de aportes exteriores durante un largo periodo de tiempo, quizá durante la edad misma de los yacimientos, es decir, varias decenas de millones de años.

Nuestros trabajos recientes han puesto de manifiesto propiedades muy especiales de ciertas bacterias de los entornos petroleros. Así, la presencia de tiosulfato, un compuesto de oxidación intermedia del azufre, modifica profundamente las capacidades metabólicas de estos microorganismos,(13) así como el tipo de compuesto que pueden utilizar para desarrollarse. Estas observaciones cuestionan la interpretación de ciertos casos de corrosión bacteriana(14) o de *souring* de los yacimientos. Es lógico, pues, preguntarse si las bacterias propias de los yacimientos son capaces de modificar los hidrocarburos, utilizando ciertas moléculas como fuente de carbono. Parece ser que así es, ya que nosotros hemos podido demostrar que las bacterias metanógenas y sulfatorreductoras del yacimiento de Emeraude, en el Congo, pueden alterar los fluidos petroleros originales; de ahí la formación de metano (CH_4) y de hidrógeno sulfurado (H_2S).(15) Otros microorganismos, especialmente las bacterias anaerobias estrictas fermentarias, quizás han dado origen a otras transformaciones, como la degradación de los n-alcanos pesados de 12 a 35 átomos de carbono. Algunos experimentos *in vitro* que se están haciendo en nuestro laboratorio van en este sentido. Pero, por el momento, no ha sido posible demostrarlo con certeza, ya que las reacciones de biodegradación de los hidrocarburos en anaerobiosis son lentas, y las duraciones de los experimentos pueden sobrepasar los seis meses.(16)

En el futuro, la capacidad de utilización de los hidrocarburos por ciertas bacterias subterráneas podría contribuir a resolver algunos problemas del medio ambiente, como la contaminación de las capas freáticas por hidrocarburos. En efecto, el estudio del metabolismo de estas bacterias podría conducir a una mayor comprensión del porqué los hidrocarburos se alteran, y a mejorar el rendimiento de su degradación. En el mismo orden de cosas, una vía de investigación actual explota las posibilidades de utilización de los microorganismos para aumentar la productividad de los yacimientos. Bacterias inyectadas en la formación, al producir en ella disolventes, tensioactivos, gas o polímeros, facilitarían la recuperación del petróleo *in situ*, en casos en los que casi el 50 % de las reservas no pueden explotarse con las técnicas actuales. ¿Puede soñarse en algo mejor, para conseguir esta «recuperación asistida de los hidrocarburos», que disponer de organismos cuyo hábitat natural lo constituyen, precisamente, los yacimientos petrolíferos?

MICHEL MAGOT, JACQUES CONNAN Y JEAN-LOUIS CROLET

(1) J.P. Adkins *et al.*, *Geomicromibiol. J., 10*, 87, 1992.
(2) V.K. Bhupathiraju *et al.*, *Geomicrobiol. J., 11*, 19, 1993.
(3) J.T. Rosnes *et al.*, *Appl. Environ. Microbiol., 57*, 2302, 1991.
(4) R.J. Parkes *et al.*, *Int. Symp. on Subsurface Microbiology*, Bath (G.B.), 1993.
(5) C.B. Filermans *et al.*, ibid.
(6) E.S. Bastin *et al.*, *Bull. Amer. Associat. Petrol, 10*, 1270, 1926.
(7) T.K. Ng *et al.*, *Geomicrobiol. J., 7*, 185, 1989.
(8) G.T. Philippi, *Geochimica Cosmochimica Acta, 41*, 33, 1977.
(9) K.O. Stetter *et al.*, *Nature, 365*, 743, 1993.
(10) M. Magot *et al.*, *in* J.M. Costa y A.D. Mercer (eds.), *Progress in the understanding and prevention of corrosion*, The Institute of Materials, Londres, 1993.
(11) M. Magot *et al.*, *Int. J. System Bacteriol., 42*, 398, 1992.
(12) F. Grimont y P.A.D. Grimont, *Ann. Inst. Pasteur/Microbiol., 137B*, 165, 1986.
(13) M.L. Fardeau *et al.*, *Current Microbiology*, en prensa.
(14) M. Magot *et al.*, *Proc. of the 3rd European federation of corrosion workshop on microbial corrosion*, The Institute of Materials, Londres, en prensa.
(15) J. Connan *et al.*, *16th Int. Meeting on organic geochemistry*, Stavanger (Noruega), 30-34, setiembre, 1993.
(16) F. Aeckersberg *et al.*, *Arch. Microbiol., 156*, 5, 1991.

LOS BEBÉS Y LOS COLORES

A LOS NIÑOS DE MUY CORTA EDAD LES ES DIFÍCIL NOMBRAR LOS COLORES SIN QUE SE SEPA EXACTAMENTE POR QUÉ. UNA SERIE DE EXPERIMENTOS DEMUESTRA QUE EL VÍNCULO ENTRE UN OBJETO Y SU COLOR PASA POR EL LENGUAJE.

A la edad de tres años, los niños, pese a saber designar por su nombre los objetos usuales más diversos, experimentan graves dificultades a la hora de nombrar los colores. Se trata de un hecho conocido y ampliamente debatido en psicología. No obstante, pocos son los especialistas que han tratado de determinar las implicaciones de este retraso para con la cognición visual en general.

Para el psicólogo francés Albert Binet, autor a principios de siglo de los primeros tests de inteligencia, la aptitud para nombrar los colores era un signo de madurez cognitiva general y reflejaba un aspecto particular de la inteligencia cuya medida incorporó a sus tests. Logró establecer así que los niños no lograban nombrar los cuatro colores fundamentales (rojo, amarillo, azul, verde) hasta la edad de ocho años. En los años treinta, M.W. Cook, en Estados Unidos, observó que la edad media no era de ocho años sino de cinco;[1] es posible que los niños actuales lo logren todavía más pronto. Esta mayor precocidad puede explicarse por el número creciente de productos manufacturados de color que forman parte de su entorno familiar y escolar. Dicho esto, la dificultad de los niños para nombrar los colores sigue siendo un enigma.

Los autores de este artículo, investigadores de las universidades de Swansea (País de Gales) y Essex (Inglaterra), hemos tratado de resolver el enigma adoptando el razonamiento siguiente: el que la aptitud para representar mentalmente y nombrar los colores no esté bien asentada, contrariamente al léxico y a la representación mental de los objetos usuales, se debe a que su vínculo con estos otros procesos cognitivos es tenue.[2] Así, es probable que a los niños de corta edad les cueste distinguir entre el color correcto y el color incorrecto de un objeto que saben nombrar, por ejemplo entre un plátano amarillo, color característico del plátano, y un plátano pintado de azul. Dado que la asociación entre un objeto coloreado y su color deja de ser problemática para un niño de mayor edad o para un adulto, cabe suponer que la aptitud para identificar correctamente el color de los objetos exige algo más que el tratamiento cognitivo de los colores, y que simplemente asociamos la palabra *plátano* con la palabra *amarillo*. El vínculo entre un objeto y su color se establecería, pues, a través del lenguaje. Si este razonamiento es co-

¿Por qué a los niños de corta edad les es difícil nombrar los colores? Se han realizado experimentos al respecto con dos grupos de niños de tres años de edad; a los del primer grupo, se les propuso elegir el dibujo correcto de entre dos dibujos de un plátano, uno pintado de azul y el otro de amarillo. Los niños pertenecientes al segundo grupo debían limitarse a decir si el color del plátano era amarillo o azul. Del experimento se desprende que los niños del segundo grupo logran mejores resultados que los del primero, lo cual sugiere que dicha aptitud está muy probablemente ligada a la capacidad de los niños para utilizar el lenguaje como instrumento del pensamiento.

rrecto, los niños deberían poder encontrar más fácilmente el color asociado a un objeto cuando se les presenta la tarea en forma verbal que cuando se les plantea como elección de imágenes. Encontrarían el problema fácil si se les preguntara de qué color es el plátano y difícil si les pidiera que eligieran la imagen que muestra el color correcto de un plátano. Esta hipótesis es contraria a la intuición, ya que establece que una tarea abstracta y verbal es más fácil de resolver que un test visual más concreto, que se limita a invitar al niño a que señale el color correcto.

Para verificar la hipótesis, realizamos una serie de cinco dibujos cada uno de los cuales representa un objeto que los niños de unos tres años de edad son normalmente capaces de nombrar. La serie comprendía un plátano, una fresa, un buzón, un gato y un limón (véase la figura). Presentamos un dibujo no coloreado de cada uno de estos objetos a un grupo de sesenta y dos niños, la mayoría de tres años y algunos de cuatro, para asegurarnos de que eran capaces de nombrarlos y de que los conocían. También les presentamos diez tarjetas, cada una con una mancha de un color distinto. Se trataba de los diez colores más citados en los textos,[3] entre los que figuraban los colores característicos de los cinco objetos dibujados.

Aproximadamente la mitad de los niños experimentaron dificultades al nombrar los colores, confirmando así las observaciones presentadas en la introducción, y tuvieron que ser excluidos para el resto del experimento. Sólo treinta y dos de los sesenta y dos niños de partida eran capaces de nombrar ocho o más de los diez colores presentados; examinamos pues las respuestas de estos niños divididos en dos grupos. A uno de los grupos se le mostró dos dibujos de un plátano, por ejemplo, uno de color azul y el otro de amarillo. Tenían que indicar cuál era el correcto. En el segundo grupo, los niños tenían que decir simplemente si el color correcto de un plátano era el amarillo o el azul. Precisemos que varios de los treinta y dos niños seleccionados no sabían nombrar todos los objetos dibujados. En nuestro análisis, sólo tuvimos en cuenta las respuestas correspondientes a los objetos correctamente identificados.

Los resultados principales confirman la hipótesis de que los niños saben distinguir más fácilmente entre el color correcto e incorrecto cuando la tarea es puramente verbal (78 % de respuestas correctas) que cuando se encuentran ante una elección visual (60 % de respuestas correctas).

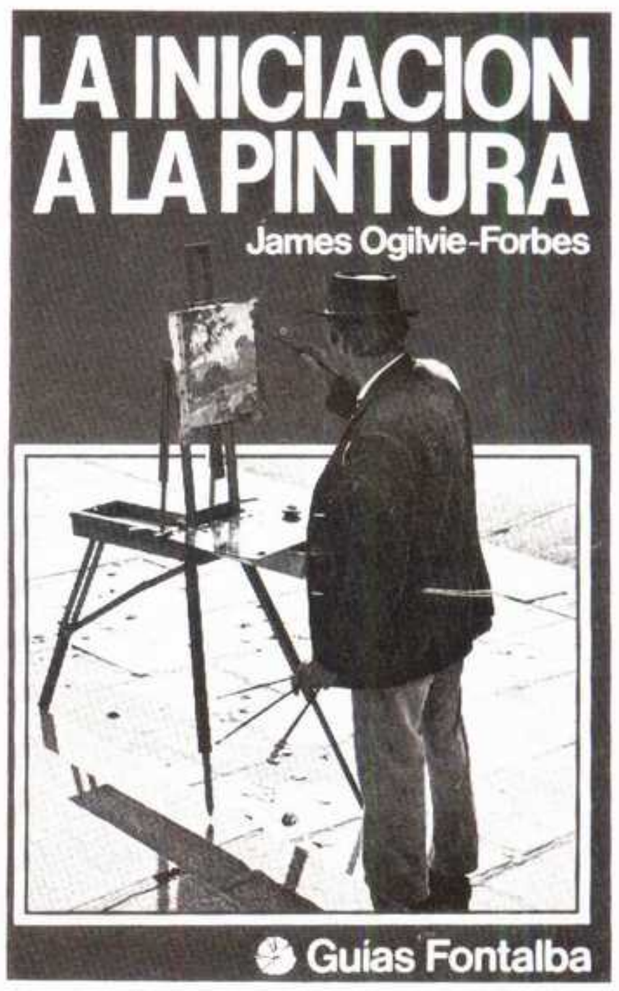
Estos resultados, estadísticamente fiables y confirmados por un segundo experimento, demuestran claramente que la aptitud para representarse mentalmente los colores no está muy asentada entre los niños pequeños. Por contra, éstos parecen capaces de determinar correctamente el color de un objeto cuando la tarea es verbal: probablemente asocian el nombre del objeto (plátano) con el nombre de su color característico (amarillo). Ello significa que, para distinguir entre un dibujo que muestra un plátano amarillo y otro que muestra un plátano azul, recurren a su aptitud creciente para utilizar el lenguaje como una herramienta del pensamiento.

Este estudio demuestra a las claras que la capacidad para reconocer visualmente el color correcto de un objeto difiere de la capacidad para hacer lo mismo verbalmente o de la aptitud para identificar correctamente manchas de colores. Como indica un estudio realizado por Jules Davidoff con un paciente del hospital Radcliffe, en Oxford (Inglaterra), puede obervarse la misma distinción en pacientes afectados por lesiones cerebrales.[4] El paciente era capaz de designar correctamente una mancha de color cuando oía el nombre de dicho color y tampoco tenía dificultades para nombrar los objetos usuales; sin embargo, cuando se le pedía que coloreara dibujos que representaban objetos usuales, era incapaz de asociarles el color correcto. Por ejemplo, pintaba de verde el dibujo de una zanahoria. No obstante, cuando se le preguntó de qué color era una zanahoria, respondió correctamente que anaranjada. Cuando se le pidió que comparara su respuesta con su dibujo coloreado, se justificó así: «*No es anaranjado, y por tanto debe ser erróneo. Pero no parece ser erróneo*».

Se puede comparar el caso del paciente de Davidoff con el de los niños que participaron en nuestro experimento. Como ellos, es incapaz de crear una imagen mental del objeto que lo informe sobre su color correcto. Verbalmente, la tarea no le plantea problemas, pero no sabe colorear un dibujo que presente simplemente el esbozo del objeto. O bien el paciente ya no sabe asociar espontáneamente la palabra de un objeto a la palabra del color, o bien su representación mental del color característico del objeto está afectada por la lesión cerebral. Cualquiera que sea la respuesta, el caso del paciente de Davidoff pone de manifiesto que las competencias adquiridas durante la infancia pueden quedar afectadas y pueden perderse durante la edad adulta a resultas de lesiones cerebrales localizadas.

JULES DAVIDOFF Y PETER MITCHELL

LA INICIACIÓN A LA PINTURA



A veces se piensa que la pintura y el dibujo son actividades tan difíciles, e incluso tan desalentadoras, que requieren un largo aprendizaje. Esta guía de *Iniciación a la pintura* nos demuestra lo contrario a esta idea. Este libro es de valiosa ayuda al principiante en su conocimiento básico de los distintos medios disponibles, cómo se usan y qué tipos de superficies existen para pintar y dibujar, etc.

Formato: 13,5 × 20 cm

Páginas: 128 en cartoné

Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P.: 923 Ptas. (Incluido IVA)

Pídalo a su librero
o contrarrembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

Valencia, 359 – 6.º 1.ª
08009 Barcelona (España)

(1) M.W. Cook, *Child Dev., 2,* 303, 1931.
(2) J. Davidoff, P. Mitchell, *Cognition, 48,* 121, 1993.
(3) B. Berlin, P. Kay, *Basic color terms: their universality and evolution,* University of California Press, 1969.
(4) J. Davidoff, *Cognition through color,* the MIT Press, 1991; C. Luzzatti, J. Davidoff, «Imparied retrieval of object-color knowledge with preserved color naming», *Neuropsychologia,* en prensa.

FECUNDACIÓN «IN VITRO» DE LAS PLANTAS CON FLORES

LA FECUNDACIÓN «IN VITRO», RESERVADA DURANTE MUCHO TIEMPO A LOS ANIMALES Y AL HOMBRE, YA ES AHORA POSIBLE EN LAS PLANTAS CON FLORES.

En el animal y en el hombre, la fecundación en tubos de ensayo, es decir, *in vitro* (FIV), constituye una técnica rutinaria que ya hace mucho tiempo entró en el terreno de la aplicación médica, con la procreación asistida y la transferencia de embriones (FIVYTE). Pero sólo a principios de los años 1990 esta metodología estuvo preparada para su aplicación a las plantas con flores (angiospermas). En 1991, el grupo de Erhardt Kranz y Horst Lörtz, de la universidad de Hamburgo, consiguió la primera fusión *in vitro* de un espermatozoide y un gameto femenino de maíz.(1) Y, recientemente, nuestro equipo de la Escuela normal superior de Lyon (unidad mixta CNRS-INRA) puso a punto un nuevo sistema de FIV que facilitará el estudio de los mecanismos íntimos de la fecundación en plantas con flores.(2)

¿A qué se debe el retraso considerable de la FIV vegetal respecto al mundo animal? ¿A la falta de conocimientos de los botánicos, o bien a dificultades relacionadas con las complejas estrategias evolutivas desarrolladas por las plantas para colonizar la superficie de la Tierra? Hay que recordar la fecundación de las flores, algo único entre los seres vivos: que es el resultado de dos etapas sucesivas y complementarias, la polinización y la fusión de las células sexuales, efectuadas fuera de un medio acuático, y que el propio proceso de fecundación es doble. Durante la primera etapa, el macho (el grano de polen) y la hembra (el pistilo de la flor) se reconocen. Si hay compatibilidad, al producirse el fenómeno, que se encuentra bajo control de un mecanismo genético muy preciso, el grano de polen es aceptado por el pistilo y germina. En las angiospermas, los espermatozoides no tienen una estructura especializada (un flagelo) susceptible de hacerlos móviles, y no son expulsados a un medio donde podrían nadar para unirse a los gametos hembra. Además, cada grano de polen encierra dos espermatozoides, o bien la célula que los genera. En la parte femenina, es decir, a nivel del pistilo, existen también dos gametos hembra. En la parte masculina, los dos espermatozoides no móviles han de ser encaminados hasta los dos gametos femeninos, profundamente ocultos en los tejidos maternos. Ésta es la función del tubo polínico. Justo después de la apertura de su extremo, tienen lugar dos fecundaciones simultáneas: cada espermatozoide se fusiona con uno de los dos gametos femeninos. Esta doble fecundación fue descubierta a finales del siglo XIX.

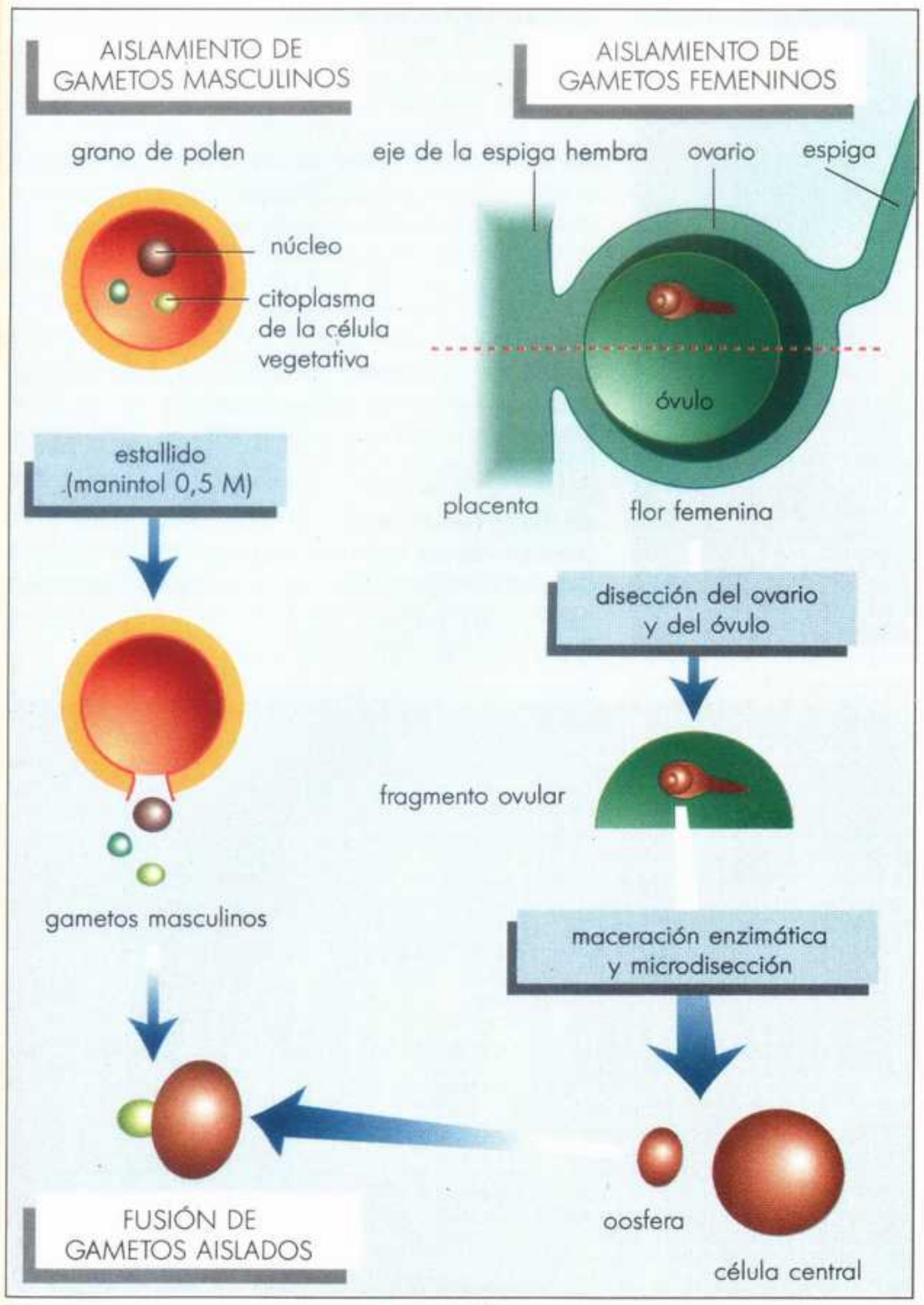
En resumen, su mecanismo es el siguiente: hay una primera fecundación entre uno de los espermatozoides y uno de los gametos femeninos, la oosfera. Estas células tienen la mitad menos de cromosomas que las otras células (n cromosomas), ya que proceden de meiosis; uno de los productos de su fusión corresponde a la célula-óvulo principal (2n cromosomas), que da origen al embrión y a la plántula. Una segunda fecundación tiene lugar entre el otro espermatozoide y el segundo gameto femenino. Éste, llamado célula central a causa de su posición, contiene no uno, sino dos núcleos de n cromosomas; la fusión da una célula-óvuló especial triploide (3n cromosomas) llamada también albumen. Es en este embrión accesorio donde se sintetiza lo esencial de las reservas de las semillas: almidón del trigo o del maíz, proteínas del grano de soja, aceites de colza o de ricino... Estas reservas son utilizadas por el embrión plántula en las primeras etapas de la germinación y hasta que la planta es autónoma, es decir, capaz de efectuar la fotosíntesis.

¿Cuáles fueron las etapas que condujeron a la fecundación *in vitro* de las plantas con flores? Los granos de polen están naturalmente deshidratados y protegidos por una doble pared, que forma una caja muy rígida capaz de resistirse a la fosilización y a todos los ácidos concentrados. Teniendo en cuenta esta estructura, se dio un primer paso hacia la FIV cuando los investigadores lograron aislar *in vitro* los espermatozoides contenidos en el grano de polen. A principios de los años ochenta, se ensayaron varios sistemas. Sobre todo el equipo norteamericano de Franck Loewus, de la universidad Pullman, intentó disolver químicamente las paredes polínicas para liberar su contenido.(3) Desafortunadamente, estas técnicas mataban generalmente las células constitutivas. En 1985, se presentaron los primeros éxitos en el aislamiento de los espermatozoides polínicos. El equipo de Bruce Knox, de Melbourne, en el cual David Cass, de la universidad canadiense de Alberta efectuaba una estancia sabática, presentaba un protocolo de obtención masiva de gametos masculinos de col. Varios miligramos de polen fueron puestos en suspensión en un medio que hacía que se abrieran. Seguidamente, se filtraban y centrifugaban: una parte procedente de la centrifugación es la que encierra los gametos masculinos. Sin embargo, este proceso no era compatible con una buena supervivencia de las células sexuales, en lo cual se diferenciaba de los métodos presentados por Scott Russell, de la universidad de Oklahoma,(4) o por nosotros mismos en la universidad de Lyon, para el trigo, la col y, sobre todo, el maíz.(5) La finalidad de todos estos estudios era aprovechar la ventaja que presentan los espermatozoides polínicos aislados respecto a las otras células vegetales,(6) es decir, son células naturalmente desprovistas de pared celular, unos verdaderos protoplastos naturales estructuralmente preparados para la fusión.

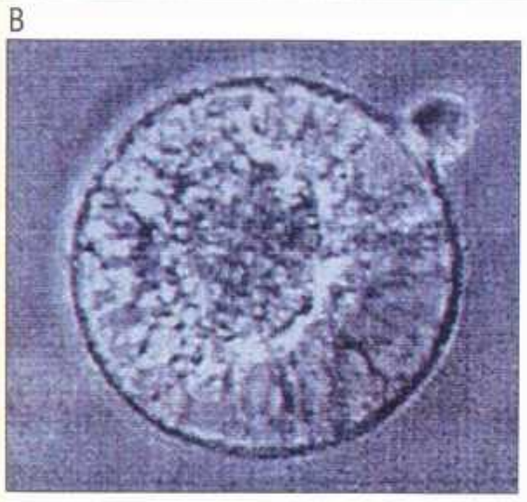
Un segundo paso importante hacia la FIV se dio cuando se aislaron los primeros gametofitos femeninos, o sacos embrionarios, que contienen los gametos (el equivalente al óvulo de las algas o de la mujer). El primer éxito hay que atribuirlo a un investigador de la universidad de Poznan (Polonia), Raphal Mol, que, en 1986, publicó un procedimiento de aislamiento por microdisección en una planta primitiva del género *Torenia*:(7) el saco embrionario no está totalmente protegido dentro de los tejidos femeninos, que forman una encajadura compleja. Paralelamente, algunos trabajos llevados a cabo por el equipo chino de C. Zhou, de la universidad de Wuhan, proporcionaban un nuevo protocolo para el girasol.(8) Pero no fue hasta 1989 cuando pudimos desarrollar en nuestro laboratorio un procedimiento para aislar el saco embrionario y los dos gametos femeninos que encierra.(9) Este avance tecnológico, que combinaba microdisección y tratamiento enzimático, nos permitía tratar simultánemente, y por primera vez, los espermatozoides y los gametos femeninos en una misma especie: el maíz (véase la figura).

Tal como hemos indicado, fue el equipo de Kranz y Lörz, de Hamburgo, el que efectuó en 1991 la primera fusión *in vitro* entre un espermatozoide polínico y un gameto femenino de maíz.(1) En primer lugar, estos investigadores tomaron un espermatozoide de 7μm de

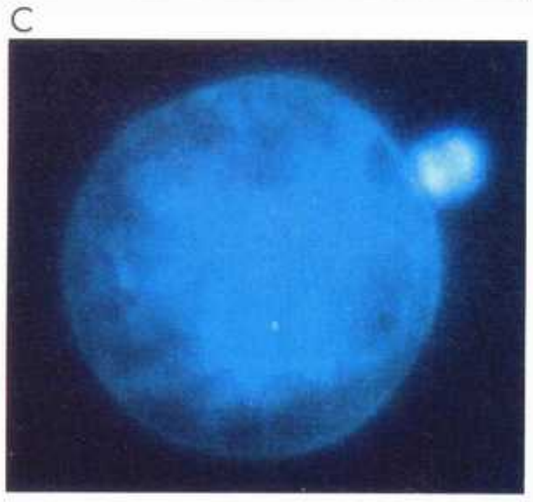
A



B



C



En las plantas con flores, una nueva técnica permite actualmente hacer fusionar in vitro *las células sexuales masculinas y femeninas, que son las que dan origen a nuevos individuos (en A, maíz). Consiste en aislar los dos espermatozoides contenidos en un grano de polen y luego los dos gametos femeninos del óvulo. Diversas técnicas permiten la fusión de la oosfera con el espermatozoide. La fase inicial de adherencia entre un espermatozoide procedente del polen y la oosfera es visible en microscopia de contraste de fase (B) y en fluorescencia (C). Finalmente, introduciendo el embrión resultante de la fecundación en un medio de «regeneración» adecuado para asegurar su desarrollo, puede obtenerse un nuevo individuo (zigoto). (Fotos J.E. Faure, C. Digonnet y C. Dumas, con autorización de Science,*[2] *©AAAS.)*

diámetro en una gota de medio, con la ayuda de una microbomba controlada por ordenador. La fusión entre gametos se hizo en una microcámara y gracias a un breve impulso eléctrico, del orden de 1 kV durante 1 ms. El problema era entonces saber si los productos de fusión así obtenidos eran verdaderas células-óvulo, es decir, si a la fusión de las membranas plásmicas había seguido la fusión de los núcleos (cariogamia).

En el marco de acuerdos bilaterales con el grupo de Kranz y Lörz y con el de Lloyd Morgensen, de la universidad de Flagstaff (Arizona), emprendimos la tarea de verificarlo. En 1993, Jean-Emmanuel Faure, que trabajaba en nuestra unidad, demostró la existencia de la fusión de los núcleos gracias a estudios citológicos realizados con microscopia electrónica.[19] Sin embargo, la técnica de electrofusión (fusión de los núcleos inducida por choques eléctricos) no permite el estudio de los primeros acontecimientos de reconocimiento entre los gametos. También en nuestro laboratorio, Catherine Digonnet intentaba independientemente reconstruir un medio de fusión y unas condiciones más naturales. Parece, en efecto, que en el entorno inmediato de las zonas de fusión de los gametos el calcio es uno de los mediadores de este fenómeno. Este año, después de haber mejorado la técnica inicial de C. Digonnet, J.E. Faure consiguió poner a punto un nuevo sistema de FIV que imita más que los anteriores la situación real[2] (véase la figura). En efecto, la electrofusión utilizada por Kranz y Lörz puede hacer que células no sexuales se fusionen con los gametos femeninos.[1] Por el contrario, nuestro sistema, que utiliza un medio de fusión con manitol y cloruro de calcio ($CaCl_2$), sólo permite una fusión gamética específica: un gameto femenino puede fusionarse únicamente con un gameto masculino. Con esto, se ha podido demostrar: que la fusión dura tan sólo algunos segundos, que entre los dos gametos femeninos existe una diferencia de capacidad para fusionarse y que la presentación de un segundo espermatozoide, después de una primera fusión, jamás acaba con éxito[2] (se habla entonces de barrera a la polispermia).

Después de este logro, cabe decir, sin embargo, que la «regeneración» de los nuevos individuos (zigotos), necesaria para la obtención de plántulas, es una operación muy delicada. Como hemos visto, en la planta hay dos fecundaciones, la segunda de las cuales da el albumen, un tejido-nodriza para el embrión-plántula. La regeneración *in vitro* de una célula-óvulo sólo puede hacerse si el medio de regeneración encierra señales moleculares emitidas por unas células que imitan el papel de las células nodriza del albumen. Después de tres años de esfuerzo, Kranz y Lörz consiguieron, en 1993, regenerar maíces fértiles a partir de los zigotos obtenidos por electrofusión.[11] Por su parte, Preben Holm y sus colaboradores, del centro de Carlsberg (Dinamarca), consiguieron recientemente regenerar cebadas a partir de zigotos procedentes de fecundación natural y aislados luego *in vitro* antes de su cultivo.[12]

Los sistemas de FIV procedentes de electrofusión, o similares a la fusión natural, al proporcionar modelos de estudio, abren nuevas perspectivas para el estudio de la doble fecundación y de los primeros acontecimientos de la embriogénesis.[13,14] El maíz se considera actualmente como el modelo ideal para analizar la reproducción y el desarrollo de las angiospermas.[15] En efecto, su genética es bien conocida, y un mismo pie puede liberar independientemente millones de granos de polen y de tres a cuatrocientos óvulos. La dificultad técnica de este material de estudio estriba, sin embargo, en sus exigentes condiciones de floración, que obligan a utilizar laboratorios especiales, los «fitotrones», cuya construcción y costes de utilización son elevados. Pero en esta especie de interés económico, es posible prever el éxito del estudio de los mecanismos genéticos y bioquímicos de la fecundación, la formación del embrión y la del almidón. Un siglo después de su descubrimiento, la doble fecundación podrá, por fin, ser analizada a escala molecular.

CHRISTIAN DUMAS

(1) E. Kranz *et al., Sex. Plant Reprod., 4,* 12, 1991.
(2) J.E. Faure *et al., Science, 263,* 1598, 1994.
(3) F.A. Loewus *et al., Plant. Physiol., 78,* 652, 1985.
(4) S.D. Russell, *Plant Physiol., 81,* 317, 1986.
(5) I. Dupuis *et al., Plant Physiol., 85,* 876, 1987.
(6) A. Chaboud y R. Perez, *Int. Rev. Cytol., 140,* 205, 1992.
(7) R. Mol, *Plant Cell. Rep., 3,* 202, 1986.
(8) C. Zhou, *Plant. Sci., 52,* 147, 1987.
(9) V.T. Wagner *et al., Plant. Sci., 70,* 11, 1989.
(10) J.E,. Faure *et al., Plant Cell, 5,* 749, 1993.
(11) E. Kranz y H. Lörz, *Plant Cell, 5,* 739, 1993.
(12) P. Holm *et al., Plant Cell, 6,* 531, 1994.
(13) D. Robert, C. Dumas y C. Bajon, *La Reproduction,* Ed. Doin, 1994.
(14) «Plant Reproduction», *Plant Cell,* número especial, *5,* 1993.
(15) C. Dumas y H.L. Mogensen, *Plant Cell, 5,* 1337, 1993.

GAS FÓSIL EN UNA GALAXIA ENANA

¿ESTÁ «FOSILIZADA» LA GALAXIA ENANA IZW18, SITUADA A TREINTA MILLONES DE AÑOS LUZ? OBSERVACIONES CON EL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE SUGIEREN QUE HABRÍA ESPERADO QUINCE MIL MILLONES DE AÑOS PARA FORMAR FINALMENTE SUS PRIMERAS ESTRELLAS MASIVAS...

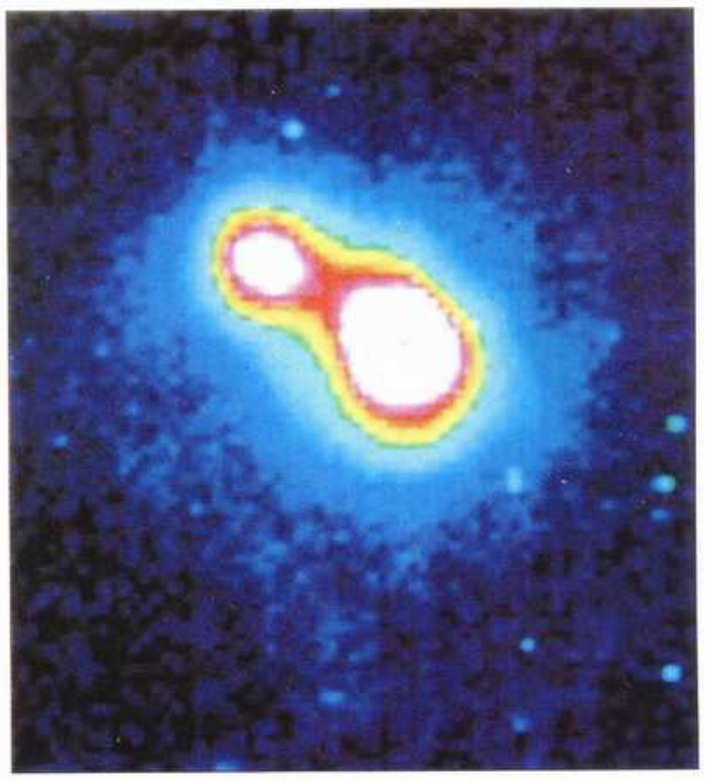


Figura 1. Poco tiempo después del big bang, se encendieron las primeras estrellas en inmensas nubes de gas: así nacieron las galaxias. ¿Realmente hay que remontarse tan atrás en el tiempo para asistir a este nacimiento? Las observaciones efectuadas con el telescopio espacial Hubble por un grupo franconorteamericano permiten suponer que todavía existe muy cerca de nosotros al menos una reserva fósil de este gas primordial. Estaría asociado a la galaxia enana aquí fotografiada, IZw18. Las dos zonas muy brillantes de la imagen contienen cada una de ellas miles de estrellas de gran masa que radían luz ultravioleta. Aparecieron hace menos de diez millones de años. Los resultados obtenidos con el telescopio espacial sugieren que se trata de la primera generación de estrellas masivas en IZw18, que sería entonces la primera «galaxia joven» jamás observada. (Foto D. Kunth/Observatorio Roque de los Muchachos, La Palma.)

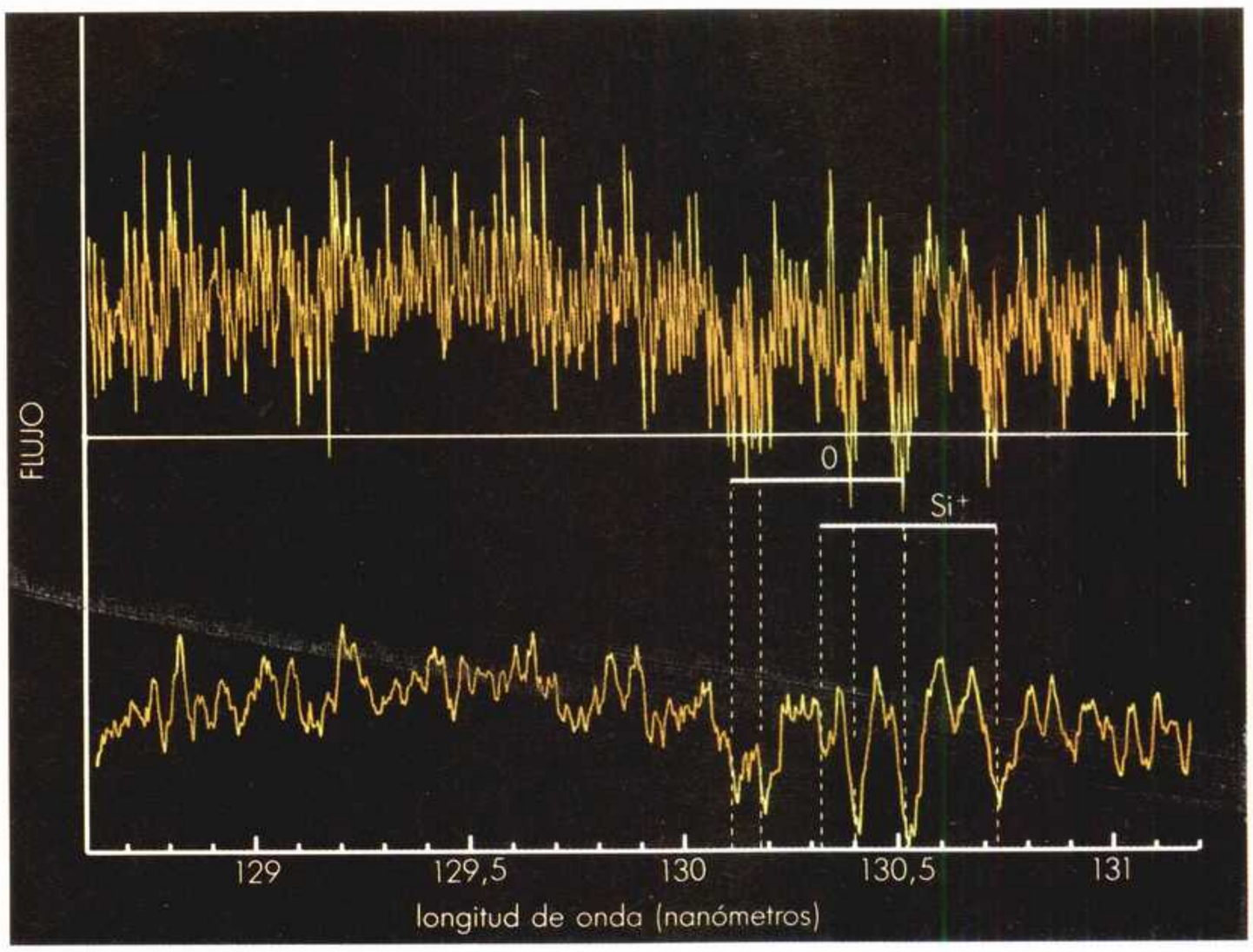


Figura 2. La presencia de átomos de oxígeno en el gas de una galaxia demuestra que ésta ya ha contenido estrellas masivas, ya que este elemento solamente se fabrica en las estrellas al menos ocho veces más masivas que el Sol. La abundancia de oxígeno en la reserva de gas no ionizado alrededor de IZw18 ha sido medida por medio del telescopio espacial por Kunth y sus colaboradores. Este espectro ultravioleta es el de la luz emitida por las estrellas azules del centro de la figura 1, después de haber atravesado el gas neutro. El espectro superior no ha sido tratado. El de abajo, después de tratamiento, presenta una serie de rayas de absorción debidas al oxígeno y al silicio. Para cada elemento, las rayas de la izquierda provienen de nubes de gas próximas a nuestra galaxia, pero la raya situada en el extremo de la derecha es la surgida del gas de IZw18. Si IZw18 tuviese tanto oxígeno y silicio como nuestra galaxia estas rayas serían mucho más anchas y más profundas. De hecho, esta región de IZw18 contiene mil veces menos oxígeno que nuestra galaxia.

¿Cuándo y cómo nacen las galaxias? A esta pregunta, como a tantas otras, los astrónomos todavía no saben responder. La mayoría de ellos creen que esto pasó muy poco tiempo después del big bang, y prácticamente al mismo tiempo para todas las galaxias. En vastas nubes de hidrógeno y helio, las *protogalaxias*, habrían aparecido las primeras estrellas señalando así el nacimiento de las galaxias. Pero aunque todas las galaxias son contemporáneas, han tendio luego evoluciones muy diferentes: en algunas, todo el gas se habría transformado muy pronto en estrellas, originando lo que actualmente se llaman galaxias elípticas. Menos apresuradas, las galaxias espirales todavía contienen una cierta cantidad de gas. La diversidad de forma de las galaxias, así como su diferente contenido en gas y polvo, se explicaría de este modo no por su nacimiento, sino por su evolución. En cualquier caso, descubrir una galaxia que está formando su primera generación de estrellas es uno de los sueños de todo astrónomo. Pero, para ello, se tienen que observar objetos lejanos ya que, debido al tiempo que tarda la luz en llegar, se los ve tal como eran poco tiempo después del big bang. Lejanos, y por tanto poco luminosos, son demasiado débiles sin duda para que se los pueda observar con los telescopios actuales. Sin embargo, es sin duda posible encontrar cerca de nosotros galaxias que habrían evolucionado muy poco después de su formación: quizá no protogalaxias, pero en todo caso galaxias muy jóvenes. Observando una galaxia enana próxima con el telescopio espacial, James Lequeux y François Viallefond del Observatorio de París, Wallace Sargent del California Institute of Technology, y yo mismo (Instituto de astrofísica de París) hemos descubierto lo que podría ser gas fósil que ha permanecido intacto desde el big bang.(1) Esta galaxia enana pertenece a la clase de las «irregulares azules», identificada en 1970 por Wallace Sargent y su colega inglés Leonard Searle.(2) Pequeñas y de forma irregular, contienen grandes cantidades de gas. Su color azul proviene de numerosas estrellas calientes y masivas, nacidas hace apenas algunos millones de años. En su época, este descubrimiento dividió a la comunidad astronómica. ¿Se trataba de verdaderas galaxias jóvenes, en las que se estaba formando una primera generación de estrellas? ¿O de galaxias nacidas como todas las demás, hace quince mil millones de años, pero muy poco evolu-

cionadas, y en las que la formación de estrellas tiene lugar en varios episodios violentos separados por largos periodos de calma?

Para decidir, una de las posibilidades es observar no las estrellas, sino el gas de la galaxia. Ya que cuanto más joven sea ésta, más se parecerá la composición del gas a la del gas primordial: hidrógeno y helio, formados durante el big bang. La menor traza de un elemento «pesado» como el oxígeno señala que ha habido estrellas masivas. En efecto, los núcleos de oxígeno se sintetizan en el interior mismo de las estrellas de gran masa (al menos ocho veces más masivas que el Sol). Cuando estas estrellas estallan, convirtiéndose así en una supernovas, el oxígeno es eyectado y luego se recicla en el gas interestelar. Ulteriormente, este gas enriquecido se vuelve a condensar para formar nuevas estrellas. Este proceso, que describe la evolución de nuestra galaxia, la Vía Láctea, contribuye, desde hace quince mil millones de años, a enriquecer progresivamente el gas interestelar con elementos atómicos pesados como el oxígeno y también el carbono, el nitrógeno, el silicio... Medir el grado de enriquecimiento en el gas de una galaxia es poder *calcular la cantidad de estrellas masivas que han nacido en ella* desde el big bang. Así, una protogalaxia sería una nube de gas que contendría exclusivamente hidrógeno y helio, sin ninguna traza de oxígeno ni de carbono.

La galaxia menos «evolucionada», la más próxima a este ideal, es una galaxia enana con el bonito nombre de IZw18 (número 18 en el primer catálogo de Zwicky) catalogada en 1971 por el astrónomo norteamericano F. Zwicky (fig. 1). El análisis de su gas ionizado muestra que contiene treinta veces menos oxígeno que nuestra galaxia, la Vía Láctea. No se conocen galaxias menos evolucionadas químicamente que IZw18, aunque los astrónomos las han buscado entre estas famosas galaxias azules irregulares. Lamentablemente, después de decenios de búsquedas infructuosas, no se ha podido detectar ninguna galaxia que posea gas totalmente primordial. En 1986, Sargent y yo mismo propusimos la siguiente explicación.(3) En este tipo de galaxias casi todo el gas está en forma neutra, salvo algunas burbujas de gas ionizado alrededor de estrellas jóvenes. Sin embargo, las abundancias se miden en el gas ionizado y no en el gas neutro, simplemente porque es mucho más fácil. Y estas famosas estrellas masivas, cuando se convierten en supernovas, inyectan oxígeno en sus burbujas ionizadas. Este oxígeno no tiene tiempo de expandirse por la galaxia: se necesitarían miles de millones de años para ello, mientras que las estrellas actualmente observadas sólo tienen algunos millones de años. Permanece por tanto confinado en el gas ionizado que ocupa un pequeño volumen alrededor de estas estrellas... No tiene nada de sorprendente entonces que las observaciones muestren la presencia de oxígeno. Para buscar el gas primordial, lo ideal sería sondear una región periférica, no contaminada y muy alejada de estas nuevas estrellas. Por esto se nos ocurrió la idea de escrutar la parte periférica de IZw18.

MIL VECES MENOS OXÍGENO QUE EN NUESTRA PROPIA GALAXIA

¿Cómo observar este inmenso depósito de gas? El hidrógeno neutro radía bien en el intervalo de las ondas de radio a 21 cm de longitud de onda, pero esto no permite conocer el contenido de elementos pesados del gas (el oxígeno por ejemplo). Por esto pensamos en utilizar el telescopio espacial Hubble. Muy sensible en el untravioleta, región del espectro electromagnético inaccesible desde las observaciones terrestres, permite obtener estas preciosas informaciones gracias a la espectroscopia. Aprovechando el hecho de que las estrellas calientes se encuentran localizadas en el interior mismo de la reserva de gas neutro, hemos obtenido el espectro de uno de los cúmulos de estrellas que se acaban de formar en IZw18. En principio, este cúmulo produce una radiación ultravioleta capaz de atravesar la nube de hidrógeno sin dificultad, ¡o casi! Así, hemos descubierto que le falta energía en algunas regiones del espectro (fig. 2). Esta energía ha sido absorbida por átomos que se pueden identificar sin ambigüedad determinando la longitud de onda de estas «rayas de absorción». El examen del espectro de IZw18 revela, no obstante, algunas sorpresas, ya que se distinguen no menos de seis rayas de absorción alrededor de los ciento treinta nanómetros de longitud de onda. En realidad, estas absorciones constituyen tres sistemas de dos rayas distintas que hemos podido atribuir respectivamente al oxígeno y al silicio. Dos de estos sistemas provienen de nubes de gas asociadas a nuestra galaxia, y sólo la tercera corresponde a IZw18.

A partir de estas rayas, hemos podido calcular la cantidad de oxígeno y de silicio contenido en la nube de IZw18. Por increíble que parezca, el número de átomos de oxígeno por átomo de hidrógeno es mil veces menor que en nuestra propia galaxia. Mil veces menos, equivale a decir que la evolución química del gas está atrasada respecto a la de galaxias como la nuestra. Esto también quiere decir que hay treinta veces menos oxígeno en el gas neutro que en el gas ionizado, justo en las proximidades de las estrellas calientes. Tales variaciones de composición química de un lugar a otro de una galaxia no se habían observado nunca. Esto confirma de forma clamorosa las predicciones que hicimos en 1986. ¡Las burbujas de gas ionizado son mucho más ricas en oxígeno que el resto de la galaxia, ya que están contaminadas por las estrellas de gran masa!

Pese a todo, hemos encontrado no obstante ínfimas trazas de oxígeno en el gas neutro de IZw18. Si este oxígeno proviene de una generación precedente de estrellas nacidas hace algunos miles de millones de años y actualmente desaparecidas, entonces IZw18 no es más joven que sus congéneres... ha evolucionado diferentemente, eso es todo. En este caso, detectaríamos elementos que se habrían mezclado progresivamente en el gas durante los miles de millones de años de la fase de calma.

Sin embargo, es turbador constatar que los elementos pesados están presentes en IZw18 en cantidades similares a las que se detectan en los cuásares, estos objetos extraordinariamente luminosos situados a más de diez mil milones de años luz de nosotros. El Universo todavía era balbuciente y ya contenía carbono, oxígeno y otros elementos pesados de la clasificación periódica. Algunos astrofísicos creen que, a diferencia del escenario estándar que hemos presentado al principio de este artículo, estos elementos se elaboraron en los primeros instantes del Universo. Muy poco tiempo después del big bang, *incluso antes* de la formación de las galaxias, habría aparecido una primera generación de estrellas de gran masa. Estas estrellas habrían estallado muy pronto en supernovas, de ahí la presencia de una pequeña cantidad de átomos «pesados» y de polvo en el gas primordial del que nacerían más tarde las estrellas de las galaxias.

Finalmente, nuestros resultados precisan la formulación de un problema más que lo resuelven, lo que es frecuente en este campo de la ciencia. Si IZw18 es una galaxia joven, entonces el gas primordial del que surgió ya contenía trazas de elementos atómicos pesados, reliquias estelares de un estado anterior del Universo. Pero una visión más convencional, que concuerda más con las teorías clásicas de formación de las galaxias, haría de IZw18 una galaxia nacida como todas las demás hace quince mil millones de años, pero cuya evolución sería compulsiva, interrumpida por largos periodos de calma.

DANIEL KUNTH

(1) D. Kunth *et al.*, *Astron. Astrophys.*, *282*, 709, 1994.
(2) L. Searle, W.L.W. Sargent, *Astrophys. J.*, *173*, 25, 1972.
(3) D. Kunth, W.L.W. Sargent, *Astrophys. J.*, *300*, 496, 1986.

EL QUARK TOP, UN DESCUBRIMIENTO ANUNCIADO

UN EQUIPO INTERNACIONAL CREE HABER DETECTADO, POR MEDIO DEL ACELERADOR NORTEAMERICANO TEVATRÓN, UNA DE LAS ÚLTIMAS PIEZAS QUE FALTABAN EN LA TABLA DE LAS PARTÍCULAS ELEMENTALES.

Se siente siempre una cierta frustración cuando se anuncia un descubrimiento que no está firmemente confirmado. Esto es lo que sucede de nuevo con la posible detección de una partícula elemental, el quark t o top, por un equipo internacional que trabaja en el Fermilab (Fermi National Laboratory), cerca de Chicago.(1) Bajo reserva de confirmación, el descubrimiento colmaría uno de los pocos huecos del «modelo estándar», forjado en los años 70 por los teóricos para describir las partículas subatómicas y sus interacciones. El modelo estándar es un elegante edificio teórico que permite dar cuenta, de forma unificada y bastante satisfactoria, de la estructura última de la materia y de las interacciones fundamentales (salvo la gravitación). En esta teoría, la tabla de todas las partículas elementales se compone de *leptones*, *quarks*, *bosones vectoriales* y el *bosón de Higgs*.

Los leptones son las partículas insensibles a la interacción llamada fuerte; están agrupados en tres parejas análogas. La primera comporta el electrón (e) y el neutrino electrónico (ν_e), la segunda está formada por el muón (μ) y el neutrino muónico (ν_μ), y la tercera comprende la tau (τ) y el neutrino tau (ν_τ). Por su parte, los quarks son sensibles a la «interacción fuerte»; también se agrupan en tres pares análogos: (u,d), (c,s) y (t,b).

En cuanto a los bosones vectoriales, vehiculan las interacciones entre leptones o entre quarks. El más conocido de ellos es el fotón, responsable de las fuerzas electromagnéticas. La «interacción débil» está vehiculada por tres tipos de bosones: el Z^o, el W^+ y su antipartícula el W^-, partículas descubiertas en 1983 en el CERN, en Ginebra. Finalmente, la «interación fuerte» entre quarks, se atribuye a unos bosones llamados gluones.

A la tabla formada por los leptones, los quarks y los bosones vectoriales (así como por sus antipartículas si se da el caso), se añade una partícula un poco más emigmática: el bosón de Higgs, necesario para la coherencia de la teoría. De este modo se esquematiza la nomenclatura de las partículas elementales según el modelo estándar de las interacciones electromagnética, débil y fuerte. ¿Pero, cuáles son las partículas realmente «observadas»? Hay que subrayar que tales entidades se revelan más o menos indirectamente, a través de sus desintegraciones o de sus interacciones con otras partículas, y gracias al cuadro teórico que permite interpretar los resultados de los experimentos. Esto es aún más cierto para los quarks y los gluones, ya que estas partículas no pueden existir aisladas, al menos a las energías accesibles actualmente y en un futuro previsible. Sólo son observables los pares quark-antiquark (el mesón π^+, por ejemplo, es una combinación del quark u y del quark anti d) o combinaciones de tres quarks (el protón, por ejemplo, es una combinación de dos quarks u y de un quark d).

UNA PARTÍCULA UNAS DOSCIENTAS VECES MÁS PESADA QUE EL PROTÓN

Hecha esta precisión, los físicos consideran que según el modelo estándar sólo faltan por descubrir tres partículas: el quark t, el bosón de Higgs y el neutrino tau. Por lo que respecta al quark t, no faltan las indicacions indirectas sobre su existencia. En particular, las medidas muy precisas realizadas en el LEP (Large Electron-Positron Collider), en el CERN, son sensibles a efectos debidos al top: sólo concuerdan con el modelo estándar si la masa del top vale 172 GeV/c^2, más menos 25 GeV/c^2, es decir unas doscientas veces la masa del protón.(2) Para intentar detectar directamente el top, se provocan colisiones entre partículas fuertemente aceleradas. Si la energía de las colisiones es suficiente para producir la partícula buscada, se tienen posibilidades de observarla. Pero la energía necesaria es tanto mayor cuanto más grande es la masa de la partícula, y este parámetro no es predicho por el modelo estándar. Esto explica el recurso a unos aceleradores cada vez más potentes para revelar nuevas partículas masivas (y efímeras).

Para ello, el acelerador Tevatrón del Fermilab es un útil precioso: acelera protones contra antiprotones a unas energías de 900 GeV por haz, lo que hace en total 1 800 GeV (1,8 TeV, de ahí el nombre del acelerador), la mayor energía actualmente accesible. Si se producen pares top-antitop en algunas de las miríadas de colisiones, se pueden poner de manifiesto detectando sus productos de desintegración; dado que el top se desintegra en un W^+ y un quark b, y el antitop en un W^- y un anti b, se tendrían que registrar las firmas de la desintegración de dos W y de un par b/anti b.

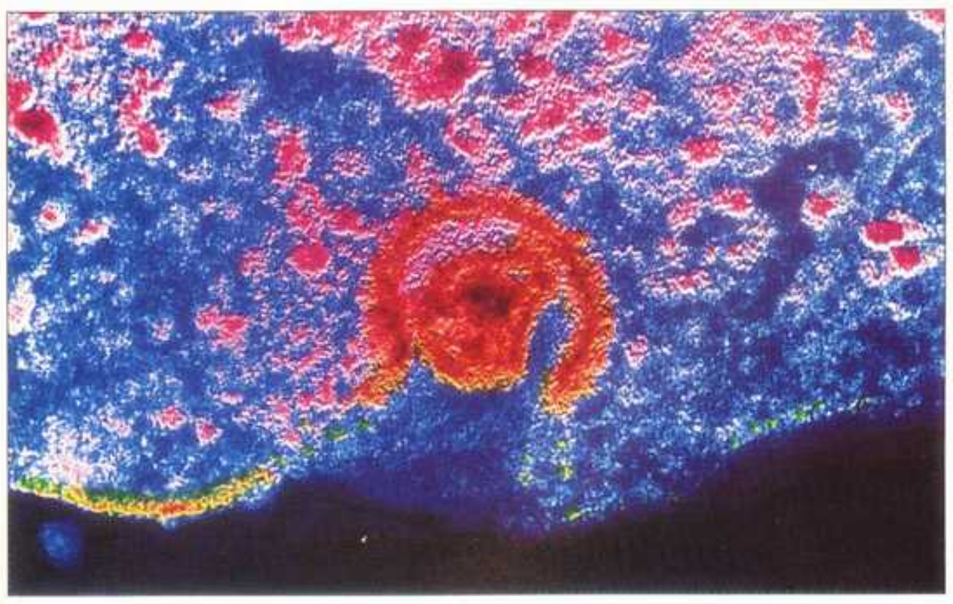
Dos detectores, llamados CDF y D0, con sus respectivos cortejos de investigadores y de ingenieros, analizan los productos de las colisiones del Tevatrón. La colaboración CDF ha anunciado haber registrado, durante diez meses de experimentos, una decena de «acontecimientos» que pueden corresponder a pares top-antitop; la masa del top estaría, según estos datos, en torno a 174 GeV/c^2 más menos un 10 %. Un valor totalmente compatible con el deducido de las medidas del LEP, lo que representa un potente test del modelo estándar.

Hay que decir que el equipo CDF, prudente, todavía no clama victoria, dado el pequeño número de acontecimientos pertinentes detectados; pero según su análisis, aunque este número sea el doble del esperado, la probabilidad de que todos estos acontecimientos constituyan simplemente «ruido» experimental es de uno entre cuatrocientos. Queda el hecho de que el otro equipo, la colaboración D0, sólo ha detectado cinco acontecimientos... Claramente, una estadística basada en una decena de acontecimientos es insuficiente para llegar a una conclusión, y el equipo CDF así lo reconoce. Por tanto el descubrimiento, con todos los requisitos, del quark top todavía no se ha producido.

Sin embargo, ya ahora se puede destacar su importancia. En primer lugar, el modelo estándar no es la última palabra en física de partículas, aunque sólo sea porque no incorpora la gravitación y porque contiene más de quince parámetros cuyo valor sigue sin explicar (las masas por ejemplo). Por tanto, el descubrimiento del quark top y la determinación de su masa tendrían que ayudar a filtrar la elaboración de teorías más ambiciosas como las teorías llamadas supersimétricas. También la búsqueda de la última partícula del modelo estándar, el famoso bosón de Higgs, estaría mejor orientada. ¿Y si el quark top o el bosón de Higgs se manifestasen finalmente ausentes? ¿Y si se descubriese una partícula inesperada? ¡Entonces los teóricos tendrían que empezar de cero o casi y muchos de ellos estarían encantados!

MAURICE MASHAAL

(1) F. Abe *et al.*, «Evidence for top quark production in p-pbar collisions at $\sqrt{s}$ = 1,8 TeV», Fermilab preprint PUB-94/097-E, 1994.
(2) «LEP experiments», preprint CERN-PPE/93-157; B. Pietrzyk, Rencontres de Moriond, marzo, 1994.



EL SEGUNDO RECEPTOR DEL VIRUS DEL SIDA: CONTINUACIÓN

¿CUÁL ES EL PAPEL DEL RECEPTOR CD26 EN LA INFECCION DE LAS CÉLULAS INMUNITARIAS POR EL VIRUS DEL SIDA? LA CONTROVERSIA CONTINÚA.

¿Cómo penetra el virus del sida (VIH) en las células inmunitarias humanas, especialmente en los linfocitos T, su diana principal? Desde hace diez años, se sabe que el virus del sida se fija en los linfocitos T mediante una molécula (CD4) presente en la superficie de estas células y que interacciona con una proteína (gp 120) de la envoltura del virus. No obstante, la sola presencia de la molécula CD4 no basta para que una célula animal se vuelva sensible al virus. De ahí la hipótesis de que un segundo receptor interaccionaría también con la envoltura del virus y sería necesario para su entrada en la célula.[1,2]

En octubre de 1993, un grupo de investigadores del Instituto Pasteur, dirigido por Ara Hovanessian, anunciaba la identificación de una molécula indispensable para la entrada del virus, la proteína CD26.[3] Según estos investigadores, dicha proteína de la membrana de los linfocitos interaccionaría con una región especial de la molécula gp 120, el bucle V3, que tiene un papel esencial en la penetración vírica. Este descubrimiento abriría las puertas a desarrollos farmacéuticos interesantes. Sin embargo, en su momento, la identificación del CD26 como correceptor del virus VIH se puso en duda.[4] Cuatro comentarios técnicos publicados en mayo último en la revista americana *Science* por investigadores franceses, ingleses y norteamericanos han hecho que el papel del CD26 sea todavía más difícil de apreciar.[5-8] En efecto, ninguno de estos trabajos ha confirmado los resultados del grupo de Hovanessian.

Los investigadores del Instituto Pasteur habían demostrado que la introducción simultánea *in vitro* de los genes de CD4 y de CD26 en células de ratón permitía la entrada del virus, mientras que la ausencia de cualquiera de estos receptores bastaba para interceptarla.[3] A finales de 1993, otros especialistas habían reprochado al equipo de Hovanessian utilizar técnicas que se alejaban de los tests habituales para detectar la entrada y la multiplicación del virus en las células. Varios equipos de todo el mundo se lanzaron entonces a la tarea de verificar el papel del CD26 en la infección por VIH.

Varios equipos de investigadores han comprobado el efecto de la introducción simultánea de los genes de CD4 y de CD26 en células animales de orígenes diversos, en las cuales el virus del sida es incapaz de penetrar en tiempo normal. Para evaluar la entrada del virus en las células, los investigadores utilizaron diferentes técnicas clásicas: detección del material genético del virus por PCR, dosificación de antígenos víricos o capacidad de las células infectadas por el virus para fusionarse entre sí. En todos los casos, los resultadós indicaron que, a pesar de la presencia de CD26, el virus sigue siendo incapaz de infectar las células, tanto si se trata de células de ratón, de visón, de gato o de simio.[5-8] Por consiguiente, según estos investigadores, la molécula CD26 no tiene un papel crítico en la infección por virus del sida, conclusión que comparte el equipo de Quentin Sattentau. Lo mismo que el equipo de Hovanessian, estos investigadores comprobaron especialmente el efecto de anticuerpos monoclonales y de inhibidores dirigidos contra el CD26; a diferencia de los investigadores del Pasteur, sus experimentos demostraron que estos compuestos no impiden la entrada del virus.[9]

Los tests se efectuaron utilizando el virus del sida más extendido, el VIH-1. Pero el equipo de Weiss también estudió la penetración del virus VIH-2, aunque sin más éxito. En efecto, en ausencia de CD26, algunas células animales que llevan en su superficie la molécula CD4 pueden ser infectadas.[9] Según este resultado, pues, el CD26 tampoco parece ser la «segunda cerradura» de la infección por VIH-2, aunque el cofactor implicado no sea el mismo que para el VIH-1.[11]

Sin embargo, el equipo de Hovanessian sostiene su hipótesis apoyándola con nuevos argumentos. Estos investigadores han desarrollado, en particular, nuevos compuestos capaces de neutralizar el CD26. Han observado que, a concentración débil e *in vitro*, tales inhibidores bloquean la entrada del VIH en su modelo.[12] Según Hovanessian, los diferentes equipos no han logrado detectar la presencia del virus porque éste sólo se multiplica muy débilmente en las células animales utilizadas.

Los trabajos de estos equipos no excluyen una interacción de la envoltura del virus con la molécula CD26, pero habría que precisar su papel exacto. En el estado actual de los conocimientos, ciertos datos sugieren que no existe un solo cofactor asociado al CD4, sino varios. Operando a ciegas, diversos equipos han tratado en vano de aislar una proteína mediante la introducción de genes muy diferentes en células animales. Este resultado negativo, sorprendente si actúa un solo cofactor, podría, en cambio, explicarse en el supuesto de que varias proteínas, codificadas por otros tantos genes, intervinieran como cofactores. Otra pista, explorada por el equipo de M. Alizon, supone que ciertos glicolípidos de la membrana de las células humanas, y no proteínas, podrían desempeñar las funciones de cofactores. Se trata de moléculas formadas por un lípido que, unido a una cadena compleja de azúcares, emerge en la superficie de la célula. Estas cadenas de glúcidos, añadidas al lípido por una serie de enzimas celulares, pueden ser privativas de la especie. Hace algunos meses, el grupo de Alizon demostró que si se fusionan células de ratón que llevan el receptor CD4 con glóbulos rojos humanos que carecen de él, las células híbridas procedentes de esta fusión pueden ser infectadas por el VIH-2.[13] Por tanto, el cofactor o los cofactores necesarios estarían presentes en la membrana de los glóbulos rojos. Los investigadores han repetido sus experimentos después de haber tratado los glóbulos rojos con proteasas, unos enzimas cuyo efecto es digerir las proteínas que hay en la superficie de las células. Los primeros resultados obtenidos son similares, lo que parece indicar que el cofactor o los cofactores en cuestión no son de naturaleza proteica.

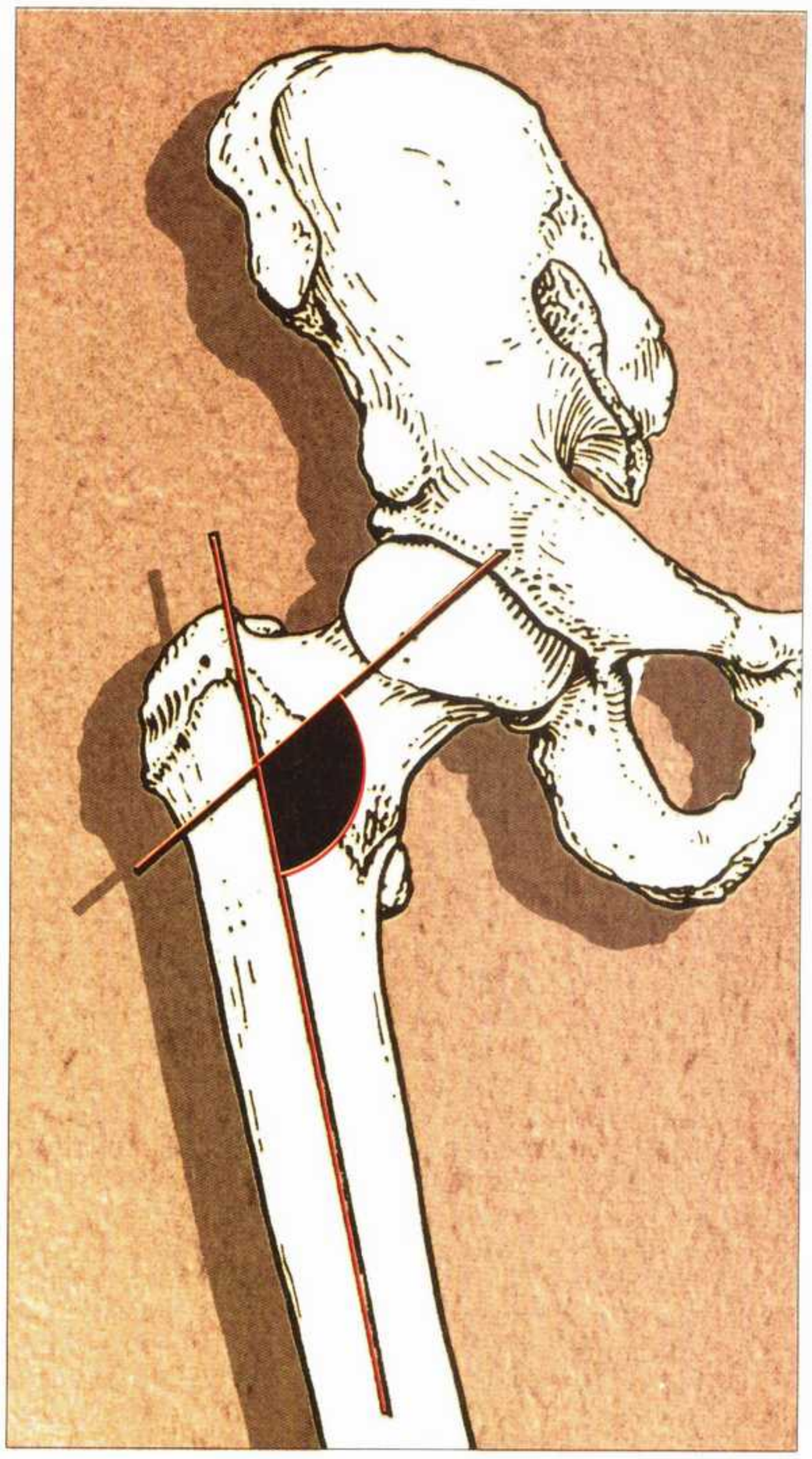
LAURA SCHALCHLI

(1) T. Dragic y *al., J. Virol., 66*, 8, 4794, 1992.
(2) C.C. Broder *el alt., Virology, 193*, 491, 1993.
(3) C. Callebaut *et al., Science, 262*, 2045, 1994.
(4) «¿Un segundo receptor del virus del sida?», *Mundo Científico*, nº 144, marzo, 1994.
(5) C.C. Broder *et al., Science, 264*, 1156, 1994.
(6) C. Patience *et al., Science, 264*, 1159, 1994.
(7) D. Camerini *et al., Science, 264*, 1160, 1994.
(8) M. Alizon *et al., Science, 264*, 1161, 1994.
(9) Q. Sattentau *et al., J. Virol.*, en prensa, 1994.
(10) A. McKnight *et al., Virology, 201*, 8, 1994.
(11) T. Dragic y M. Alizon, *J. Virol., 67*, 4, 2355, 1993.
(12) C. Callebaut *et al., Science, 264*, 1165, 1994.
(13) M. Alizon, com. oral, Keastone symposium: Prevention and treatments of AIDS, Hilton Head Island, enero 1994.

EL CUELLO DEL FÉMUR: ¿UN INDICADOR SOCIAL PARA LOS ANTROPÓLOGOS?

EL ANÁLISIS DE LA ORIENTACIÓN DEL CUELLO DEL FÉMUR DEL HOMBRE DE NEANDERTAL Y DE LOS HOMBRES MODERNOS FÓSILES, QUE COHABITARON EN EL ORIENTE PRÓXIMO HACE 90 000 AÑOS, REVELARÍA UNA DIFERENCIACIÓN SOCIAL.

El análisis de los vestigios humanos ha permitido fijar que las dos poblaciones diferían no sólo físicamente, sino también en cuanto a eficacia, y esto a pesar de la semejanza de las tecnologías. Así, algunos estudios macroscópicos y microscópicos que yo mismo he efectuado en el laboratorio de antropología de la universidad de Nuevo México, y otros debidos a A.S. Ryan, de la universidad



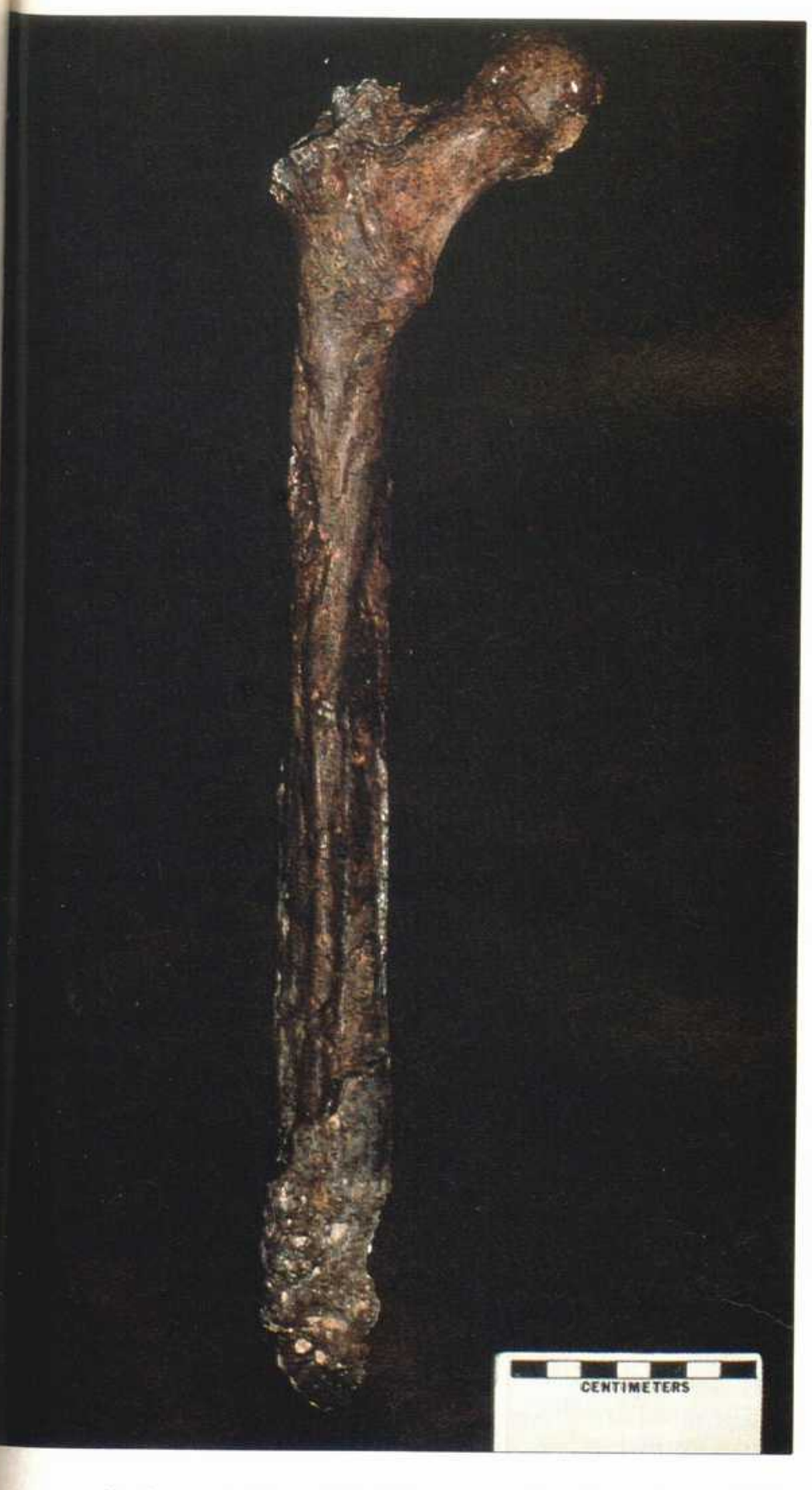
Cuando nacen, todos los seres humanos tienen el cuello del fémur vertical; es el nivel de actividad del niño lo que determina el ángulo definitivo del cuello del fémur: cuando más activo es el pequeño, más horizontal será el cuello. Comparando los fósiles de homínidos desde los australopitecos hasta el hombre moderno, E. Trinkaus ha constatado una gran evolución del ángulo formado por el cuello del fémur y el propio fémur (A). Este ángulo es más cerrado en las poblaciones de cazadores prehistóricos que en el hombre sedentario moderno. Pero hay una excepción: los hombres modernos fósiles que hace 90 000 años coexistían con el hombre de Neandertal. ¿Cómo se explica que los Homo sapiens de Qafzeh (B) tuvieran un ángulo del cuello del fémur diferente de los neandertalenses del Oriente próximo si todos ellos eran cazadores-recolectores, explotaban su medio del mismo modo, con las mismas técnicas y los mismos instrumentos? (Foto E. Trinkaus/Israel Department of Antiquities.)

En el transcurso de los últimos diez años, el interés de los antropólogos se ha orientado hacia el origen de los hombres modernos en África y en Eurasia, origen que suele situarse entre 100 000 y 30 000 años. ¿Procedían estos hombres de poblaciones arcaicas que vivían en aquellos lugares? ¿Las sustituyeron? ¿Se mezclaron con ellas? En los debates sobre las condiciones bajo las cuales aparecieron los primeros hombres modernos, hay que incorporar una cuestión afín, conocida desde los años cincuenta, cuando se estableció que dos grupos humanos, el hombre de Neandertal y los hombres modernos fósiles, aparecían asociados en los conjuntos de instrumentos de piedra del paleolítico medio (o del musteriense), hallados en el Oriente próximo. El hombre de Neandertal fue hallado en los yacimientos de Shanidar (Irak), Tabun, Amud y Kebara (Israel), y los hombres modernos fósiles en los de Skhul y Qafzeh (Israel). Las investigaciones arqueológicas llevadas a cabo estos últimos años, especialmente en Tabun, Qafzeh y Kebara, únicamente han permitido identificar, entre los vestigios procedentes de estos dos grupos humanos, diferencias menores en lo que se refiere a fabricación y utilización de instrumentos de piedra, tipos de sepulturas, explotación de animales, utilización de motivos decorativos y carácter estacional de la ocupación de dichos yacimientos.[1] En efecto, el grado de variabilidad de estos indicadores arqueológicos podría explicarse fácilmente por las variaciones normales de comportamiento propias de los cazadores-recolectores, que explotaban territorios diversos y se vieron sometidos a condiciones climáticas diferentes durante el periodo de ocupación de aquellos yacimientos (entre 90 000 y 50 000 años).

Hay, por consiguiente, un interrogante que sigue abierto: ¿qué diferencias de comportamiento, por ínfimas que fuesen, pudieron servir para mantener la separación entre estos dos grupos humanos y desembocar, al menos en parte, en la sustitución del hombre de Neandertal por los hombres modernos fósiles y la desaparición de los primeros?

del Estado de Ohio, ponen de manifiesto un contraste muy claro entre ambos grupos. Para una edad determinada, en los hombres modernos fósiles aparece un desgaste menor de los dientes, lo que significa que, sin duda, los utilizaban menos que los de Neandertal para trabajar las pieles o los tendones. Menos robustos que estos últimos, no recurrían tanto a la fuerza física para llevar a cabo ciertas tareas cotidianas. A esto, yo añadiría actualmente un elemento característico que distingue las dos poblacio-

nes: la orientación del cuello del fémur.(2) El fémur del hombre posee un cuello relativamente largo que se prolonga en la región de la cadera, a partir de la diáfisis oblicua, para llegar hasta la cabeza del fémur a nivel de la articulación de la cadera. Desde el siglo XIX, se ha visto que su orientación varía no sólo según las poblaciones, sino también dentro de una misma población. Comparando las medidas obtenidas a partir de muestras recientes de cazadores-recolectores, de comunidades agrícolas de tamaño pequeño y de poblaciones urbanas, he constatado que cuanto más sedentaria, urbanizada y poco activa físicamente es una población, más vertical es el hueso del fémur, lo que se traduce en una medida más importante del ángulo formado por el cuello y el cuerpo del fémur (fig. A).



Gracias a los datos obtenidos a partir de fósiles tanto de hombres de Neandertal como de hombres modernos, de *Homo erectus, Homo habilis* y *Australopithecus*, he podido determinar la evolución de la medida del ángulo formado por el cuello y el cuerpo del fémur a lo largo del pleistoceno: la medida del ángulo aumenta en la mayor parte de las poblaciones que vivieron a finales del paleolítico y, más especialmente, en las sedentarias. Desde este punto de vista, los neandertalenses de Amud, Shanidar y Tabun presentan una medida muy reducida del ángulo en cuestión y se sitúan en el límite inferior del abanico de variaciones registradas en el hombre moderno. En cambio, las medidas de la mayor parte de los hombres modernos fósiles de los yacimientos de Qafzeh y de Skhul son excepcionalmente grandes (fig. B). Este dato es sorprendente, ya que sabemos, según los datos arqueológicos, que los hombres modernos fósiles del Oriente próximo debían ser, lo mismo que los neandertalenses y otros grupos humanos de finales del pleistoceno, cazadores-recolectores relativamente móviles. La solución de este enigma se halla en el modelo de desarrollo de la orientación del cuello del fémur. Al nacer, el cuello del fémur de todos los hombres es esencialmente vertical. Cuando los niños empiezan a andar y a cargar su peso sobre las piernas, el ángulo del cuello disminuye progresivamente para, hacia la pubertad, llegar a la orientación propia del adulto. Un estudio de C. Houston y W.A. Zaleski, de la universidad de Saskatchewan (Canadá), demostró que el grado de disminución de este ángulo en los niños depende de su nivel de actividad: cuanto más activos son, más rápidamente disminuye el ángulo del cuello del fémur, lo que da lugar a un cuello más horizontal en el adulto.(3) El ángulo formado por el cuello y el cuerpo del fémur en el adulto refleja, por tanto, el grado de actividad del individuo durante la infancia. Si bien las poblaciones urbanas actuales son, por término medio, inactivas durante la infancia, las poblaciones agrícolas sedentarias son, en cambio, más activas. En lo que respecta a los grupos de cazadores-recolectores recientes, todavía lo son más, y los hombres del pleistoceno también lo debieron ser. Todo esto se traduce en un aumento del ángulo medio del cuello en los citados grupos cuando se pasa de los cazadores-recolectores del pleistoceno a las poblaciones urbanas modernas. Por consiguiente, los hombres modernos fósiles del Oriente próximo, con ángulos del cuello comparables al de las poblaciones urbanas, debieron ser relativamente poco activos durante su infancia. Sin embargo, no hay que deducir de esto ninguna indicación sobre su actividad en la edad adulta y es indudable que fueron relativamente móviles.

Una razón por la cual los niños de los yacimientos de Skhul y de Qafzeh habrían sido menos activos que los neandertalenses de Amud, Tabun y Kebara podría ser su pertenencia a grupos sociales que cambiaban de residencia con menor frecuencia. En este supuesto, los individuos impúberes y uno o dos adultos pudieron haber sido muy sedentarios, mientras que los otros adultos eran los que salían en busca de alimento.

Y es aquí donde, en mi hipótesis, interviene otro elemento: el yacimiento de Qafzeh presenta unos índices excepcionalmente altos de roedores comensales, que nutren de sus detritus. Ahora bien, E. Tchernov, de la universidad hebraica de Jerusalén demostró que, entre los yacimientos del paleolítico medio del Oriente próximo, Qafzeh es el único donde han sido halladas las dos especies de ratas africanas comensales, *Arvicanthis ectos* y *Rattus batei*. Además, también está presente el ratón *Mus musculus*, pero de manera mucho menos importante que en otros yacimientos contemporáneos del Oriente próximo.(4) Esto indica que el yacimiento de Qafzeh estuvo ocupado durante mucho más tiempo que los otros, lo que ha motivado la presencia de cantidades más importantes de detritus.(5)

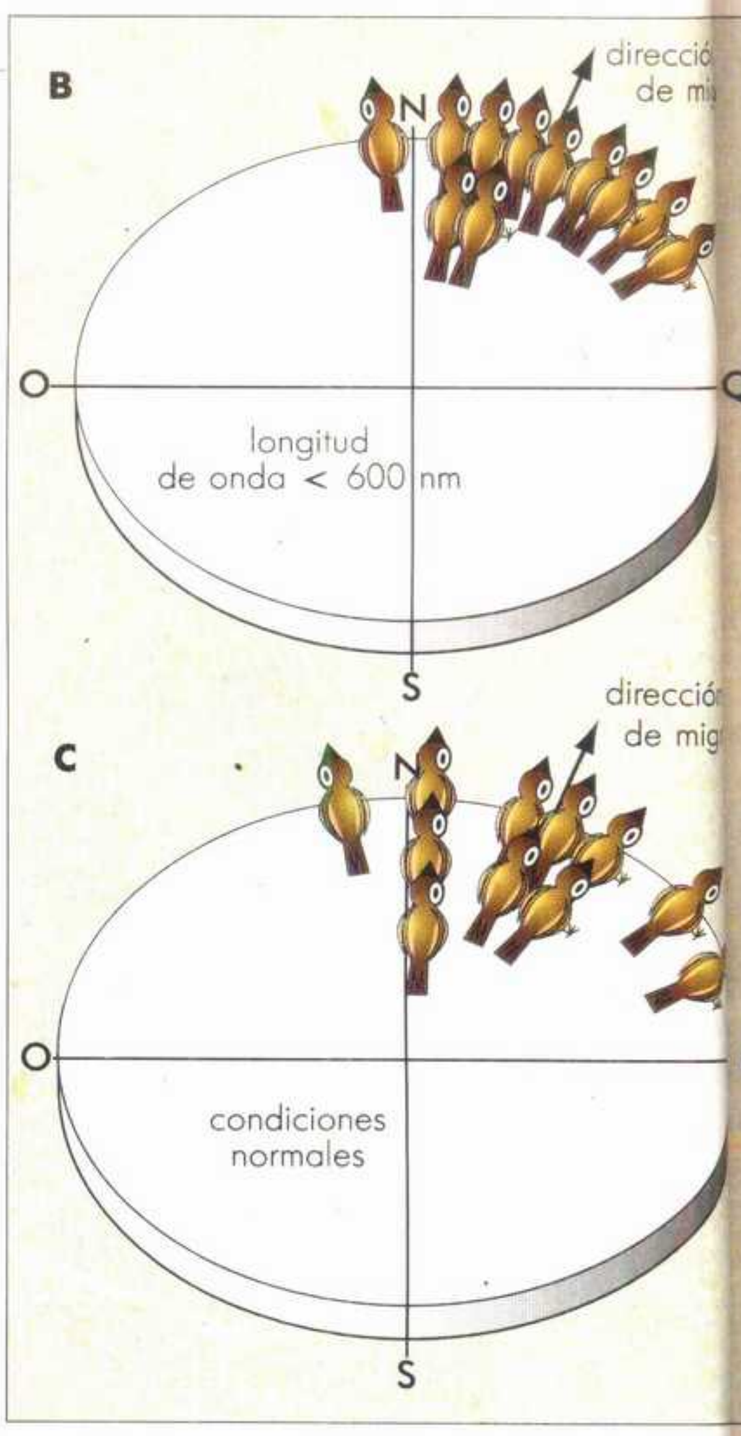
De estos dos elementos característicos de los hombres modernos fósiles del Oriente próximo podemos deducir, respecto a los neandertalenses y siempre en el contexto de una sociedad de cazadores-recolectores nómadas, un sedentarismo más acusado y una división social del trabajo en relación con la edad. Esto significaría, pues, que ciertos aspectos de la organización social pudieron tener un papel importante en el proceso de emergencia de los hombres modernos.

ERIK TRINKAUS

(1) A.J. Jelinek, *in The Transition from Lower to Middle Palaeolithic and the Origin of Modern Man*, BAR, 1982; O. Bar-Yosef *et al., Curr. Anthropol., 33*, 497, 1992; A.M. Tillier *et al., Paléorient, 14*, 130, 1988; J.J. Shea, Ph. D. Thesis, Harvard University, 1991; D.E. Lieberman *et al., Curr. Anthropol., 34*, 599, 1993.
(2) E. Trinkaus, *J. Hum. Evol., 25*, 393, 1993.
(3) C.S. Houston y W.A. Zaleski, *Radiology, 89*, 56, 1967.
(4) E. Tchernov, *Etudes Res. Archéol. Univ. Liège, 29*, 153, 1988.
(5) E. Thcernov, *in Animals and Archaeology 3*, BAR, 1984.

EL OJO, AL ACECHO DEL CAMPO MAGNÉTICO

¿CÓMO PERCIBEN LAS AVES EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE? EN EL PROCESO PODRÍAN ESTAR IMPLICADOS LOS FOTORRECEPTORES DE LA RETINA.



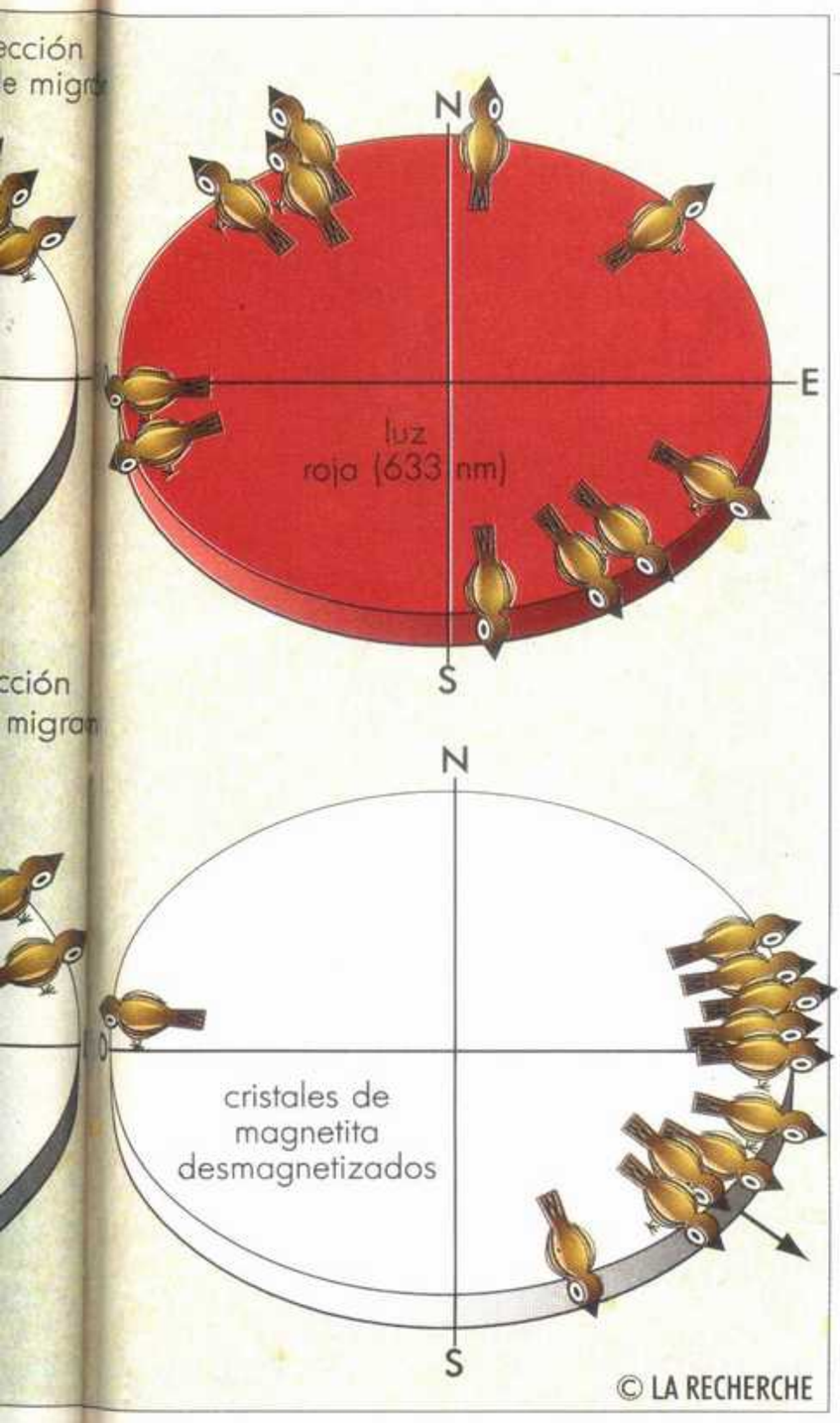
La utilización del campo magnético por las aves para orientarse durante las migraciones, sospechada ya por los ornitólogos a principios del siglo XIX, es, desde hace unos treinta años, un hecho establecido. Esta brújula magnética podría ser la primera de que disponen las crías sin experiencia migratoria; las demás brújulas (solar, estelar, o basada en la polarización de la luz), se constituyen durante la experiencia de vuelo. En cambio, los mecanismos de dicha percepción siguen siendo objeto de animadas discusiones. El año pasado, un equipo germanoaustraliano demostró que un pájaro australiano detecta el campo magnético terrestre gracias a los fotorreceptores de la retina.(1) Pero los resultados publicados actualmente por estos investigadores sugieren que dicho sistema sería un mero componente del mecanismo de orientación.(2)

La idea de que los fotorreceptores podrían estar implicados en la percepción del campo magnético fue formulada por primera vez en 1977 por el físico inglés M. Leask, de la universidad de Oxford, sobre bases teóricas.(3) Según este autor, la rodopsina, principal fotopigmento de la retina, podría detectar el campo magnético gracias a un fenómeno físico de tipo «bombeo óptico». Como se sabe, la luz excita el pigmento visual; la absorción de un fotón provoca un cambio de su conformación y, por medio de una cascada de reacciones bioquímicas que amplifican la señal (fototransducción), da origen al influjo nervioso visual. La absorción de fotones por la rodopsina haría pasar los electrones de estas grandes moléculas a niveles excitados, algunos de los cuales están dotados de propiedades magnéticas. Los millones de moléculas de rodopsina quedarían transformados en minúsculos imanes temporales capaces de alinearse siguiendo las líneas del campo magnético. Semejante mecanismo estaría asociado a los procesos de visión o, como sugerían en 1986 K. Schulten y A. Windemuth, de la universidad de Munich,(4) podría dar origen incluso a una percepción visual del campo magnético terrestre.

Esta teoría es particularmente seductora porque numerosos estudios han puesto de manifiesto que las aves utilizan una brújula magnética de inclinación, basada en el ángulo que las líneas de campo forman con el horizonte. Dichas líneas se inclinan hacia abajo en el hemisferio norte y hacia arriba en el hemisferio sur. Por ello, el ángulo varía entre cero grados en el ecuador geomagnético y noventa grados en los polos, lo cual permite a las aves orientarse con respecto al ecuador. Los fotopigmentos de la retina que, según Leask, se orientan en la dirección del campo magnético, estarían implicados en la detección del ángulo de inclinación.

Un primer resultado en apoyo de dicha hipótesis fue obtenido en 1984 por R. Semm y su equipo de la universidad de Francfort. Estos autores, sobre la base de registros electrofisiológicos, demostraron que las vías visuales están implicadas en la detección del campo magnético y que este proceso depende de la luz.(5) Pero sólo en 1992, con el experimento de J. Philipps y C. Borland, de la universidad de Indiana, en Bloomington, empezaron a emerger pruebas del papel efectivo de los fotorreceptores de la retina.(6) En presencia de luz, la salamandra *Notophthalmus viridescens* se dirige hacia la orilla de los cursos de agua gracias a indicios magnéticos. Este animal, en efecto, cambia de orientación cuando se modifica artificialmente la orientación del campo. Borland y Philipps estudiaron más de cerca el papel de la luz haciendo variar su longitud de onda. Los complejos resultados obtenidos por dichos investigadores no permiten una interpretación clara de los procesos en juego. La salamandra se orienta normalmente en presencia de una luz blanca o azul, pero se orienta al azar en la oscuridad o en presencia de una luz verdeazulada. Por algún motivo no aclarado hasta el momento, desvía 90° su camino bajo la acción de una luz verdeamarillenta o anaranjada. No obstante, estos experimentos confirman el efecto directo de la luz sobre la brújula magnética y sugieren la intervención de ciertos fotopigmentos dotados de sensibilidad espectral.

El experimento realizado en 1993 por W. y R. Wiltschko, de la universidad de Francfort, y por U. Munro y H. Ford, de la universidad de Nueva Inglaterra, en Australia, brinda unos resultados to-



El pájaro de anteojos, un pájaro australiano, utiliza el campo magnético terrestre para determinar su orientación de migración (A). La orientación que adopta depende de la orientación que se ha dado artificialmente al campo magnético local. Para determinar la dirección tomada, los investigadores recurren a un comportamiento especial del ave que consiste en realizar numerosas tentativas abortadas de vuelo. Las huellas de las patas en el suelo de las jaulas de Emlen permiten calcular la dirección media de cada ave y compararla con la que se obtiene en otras condiciones experimentales. Colocando los pájaros a oscuras e iluminándolos con distintas longitudes de onda luminosas, unos investigadores alemanes y australianos han demostrado que las aves sólo adoptan la dirección correcta cuando la longitud de onda es inferior a la de la luz roja (B). En este último caso, las tentativas medias de vuelo de las aves se hacen al azar. La percepción del campo magnético depende pues de la luz y presumiblemente hace intervenir los fotopigmentos de la retina. Pero si se destruye la magnetización de los cristales de magnetita presentes en el cráneo del pájaro, la orientación de este último también queda perturbada (C). Estos resultados sugieren que los dos mecanismos de detección del campo magnético, el que recurre a los fotopigmentos de la retina y el que utiliza los cristales de magnetita, actúan sinérgicamente. (Foto W. Wiltschko.)

davía más convincentes. En él se pone de manifiesto la necesidad de una energía mínima para que se produzca una magnetodetección.(1) Los investigadores han estudiado la dirección de la migración del pájaro de anteojos (*Zosterops l. lateralis*) para distintas orientaciones del campo magnético y para distintas longitudes de onda luminosas. La dirección se determina utilizando un comportamiento especial del ave durante el periodo que precede la migración.

PIGMENTOS RETINIANOS Y CRISTALES DE MAGNETITA: UN TÁNDEM INESPERADO

Dicho comportamiento consiste en imitar el vuelo en la dirección de migración (fig. A). Colocando los animales en unas jaulas, llamadas de Emlen, que permiten registrar en el suelo las huellas de sus múltiples tentativas de partida, se puede determinar la dirección media de la migración.

Se ha experimentado con veintidós aves en condiciones tales que no les lleguen informaciones procuradas por la posición de los astros. Se las ha iluminado con luces roja (633 nanómetros de longitud de onda), verde (571 nm), azul (443 nm) y blanca. Los pájaros se dirigen correctamente en el campo magnético local determinado artificialmente cualquiera que sea la longitud de onda de la luz utilizada, con la notable excepción de la luz roja. En tal caso, que corresponde a la luz de onda menos energética, el ave toma una dirección aleatoria (fig. B). El resultado sugiere que los pigmentos sensibles al campo magnético podrían ser la rodopsina (el fotopigmento de los bastones) o los pigmentos de los conos sensibles a las luces azul o verde.

La identificación de estos fotopigmentos debería progresar con el estudio de otro modelo animal, la drosófila o mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*). En 1993, J.B. Philipps y O. Sayeed, de la universidad de Indiana, demostraron que la drosófila también percibe el campo magnético gracias a los fotorreceptores y que lo emplea para orientarse.(7) La utilización de drosófilas mutantes o transgénicas, relativamente fáciles de obtener en esta especie, debería permitir caracterizar el papel de los distintos fotopigmentos en la magnetosensibilidad.

Pese al entusiasmo —o la prudencia— que suscitan estos estudios, la percepción del campo magnético por los fotopigmentos no da cuenta por sí sola del comportamiento de orientación del ave. El último estudio, que acaba de ser publicado por el equipo alemán y australiano, en colaboración con R.C. Beason, de la universidad del estado de Nueva York, sugiere que en la orientación de migración del pájaro de anteojos intervienen también los cristales de magnetita.(2)

Estos cristales fueron descubiertos en 1975 por el biólogo norteamericano R. Blackmore en una bacteria anaerobia, *Aquaspirillum*, e identificados más tarde en muchos animales.(8) C. Walcott, J.-L. Gould y K.L. Kirschvink, de la universidad de Princeton, descubrieron en 1979 la presencia de cristales de magnetita en el cráneo de la paloma, entre el hueso y la duramadre, y sugirieron que podían jugar un papel en la detección del campo magnético.(9) P. Semm, en aquel entonces en la universidad de Francfort, y el propio Beason, identificaron estos cristales en la parte anterior del cráneo, encima del pico, de un ave migratoria del nuevo mundo, el goglu (*Dolichonyx oryzivorus*). En 1987, y más tarde en 1990, estos autores demostraron que las ramas oftálmicas y supraorbitales de un nervio craneano, el trigémino, inervan esta región y responden a variaciones artificiales del campo magnético.(10) No obstante, sólo se obtienen modificaciones de la actividad eléctrica del «sistema trigeminal» para variaciones de intensidad del campo magnético, y no para variaciones de dirección. Este sistema, en consecuencia, no estaría involucrado en el funcionamiento de la brújula magnética. Dado que la intensidad del campo varía con las zonas geográficas, podría ser que indicara la posición y permitiera que el ave estableciera un mapa magnético de navegación.

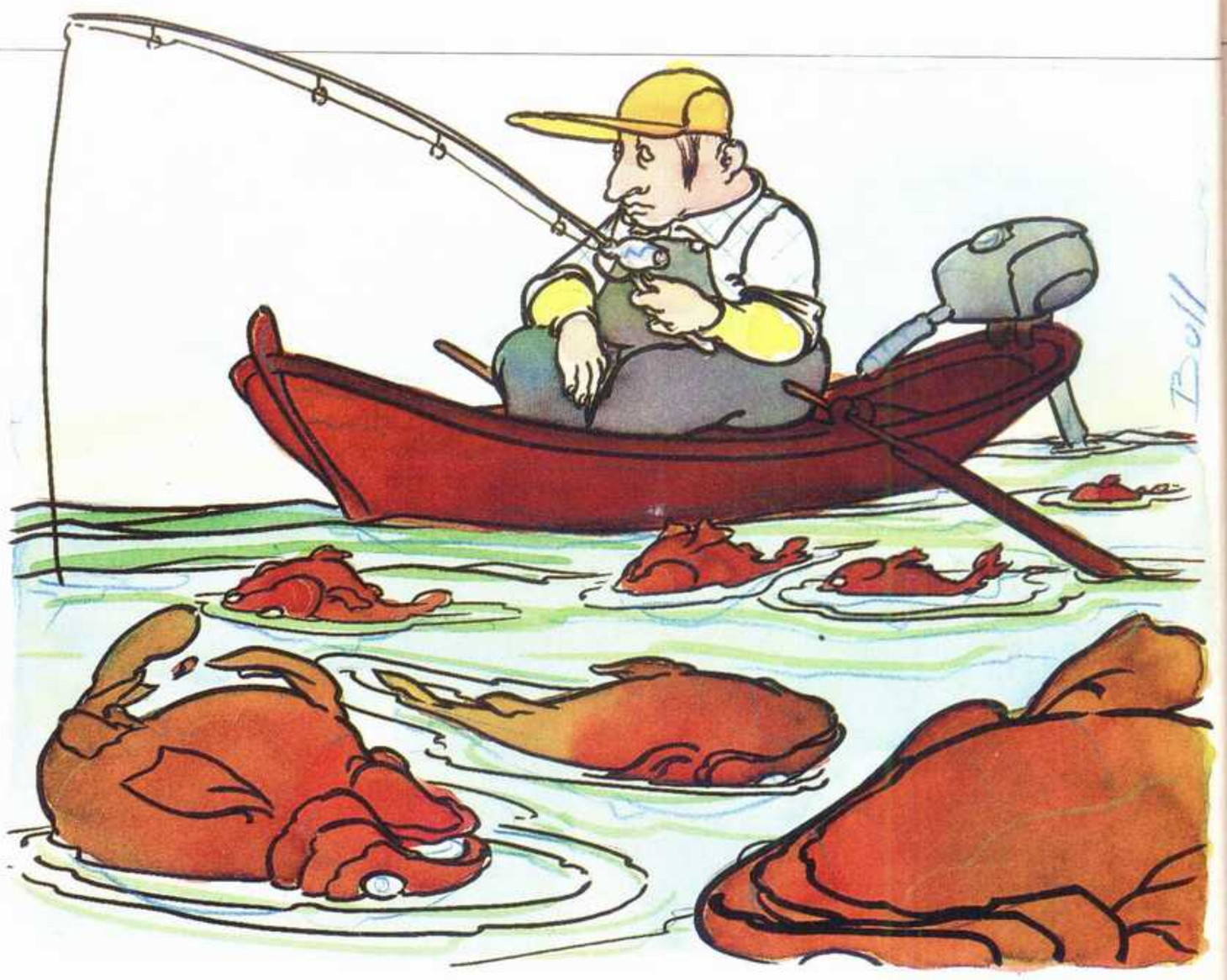
El último experimento de Beason y del equipo germanoaustraliano pone seriamente en tela de juicio la distribución de funciones entre las magnetitas (mapas) y los fotorreceptores (brújula). Estos investigadores han destruido temporalmente la magnetización de los cristales de magnetita presentes en la región de la cabeza del pájaro australiano mediante un fuerte impulso magnético (0,5 tesla durante unos 4 milisengundos). En tal caso, la dirección del ave, determinada en las mismas condiciones que en el experimento anterior, queda perturbada y gira 90° (fig. C). Para estos resultados no existe todavía explicación satisfactoria. No obstante, sugieren que, al menos para esta especie migratoria, los cristales no sólo indican la posición del pájaro (mapa de navegación) sino que también juegan algún papel en la dirección a tomar (brújula). Una hipótesis seductora propuesta por los autores supone que ambos sistemas, uno dependiente de la luz y el otro de la magnetita, son dos componentes complementarios de un mismo sistema de orientación. Habrá que realizar otros experimentos para confirmar o invalidar esta hipótesis, que tal vez permita resolver también la cuestión de la orientación de las aves en la oscuridad.

FRANÇOISE BRETON Y FRANÇOISE GILLARD

(1) W. Wiltschko *et al.*, *Nature*, *364*, 525, 1993.
(2) W. Wiltschko *et al.*, *Experimentia*, *50*, 1994, en prensa.
(3) M.J.M. Leask, *Nature*, *267*, 145, 1977.
(4) K. Schulten y A. Windemuth, *in* G. Maret *et al.* (eds.), *Biophysical effects of steady magnetic fields*, Springer-Verlag, 1986.
(5) P. Semm *et al.*, *J. Comp. Physiol.*, *155*, 283, 1984.
(6) J.B. Philipps y S.C. Borland, *Nature*, *359*, 142, 1992.
(7) J.B. Philipps y O. Sayeed, *J. Comp. Physiol.*, *172*, 303, 1993.
(8) R.P. Blackmore, *Science*, *190*, 377, 1975.
(9) C. Walcott *et al.*, *Science*, *205*, 1027, 1979.
(10) P. Semm y R.C. Beason, *Brain Res. Bull.*, *25*, 735, 1990.

SALVAR LOS PECES DE AGUA DULCE

MUCHAS ESPECIES ANIMALES ESTÁN ACTUALMENTE AMENAZADAS DE EXTINCIÓN; ENTRE ELLAS, MUCHOS REPRESENTANTES DE LA FAUNA DE AGUA DULCE DESAPARECEN ENTRE LA INDIFERENCIA COLECTIVA, DESPRECIADOS ANTE ESPECIES MÁS MEDIÁTICAS.



Durante la conferencia de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992, se habló mucho de la desaparición de los bosques tropicales y de la contaminación de los medios marinos. Hasta el momento, sin embargo, los medios acuáticos continentales, que albergan una flora y una fauna extremadamente variadas, no ha suscitado tanto interés. Se estima, sin embargo, que más del 25 % de los vertebrados (peces, pero también batracios, reptiles, mamíferos y aves) viven en las aguas continentales, que cubren menos del 1 % de la superficie de la Tierra. Pero éstas, como consecuencia de la contaminación y de la ordenación del territorio, están cada vez más degradadas. El problema del futuro y la protección de la fauna de las aguas continentales fue uno de los temas abordados en el simposio sobre diversidad biológica de los peces africanos de aguas dulces y saladas celebrado en noviembre de 1993 en Senegal. Los cerca de ciento cincuenta científicos reunidos entonces establecieron un balance matizado. Aunque un importante esfuerzo de investigación realizado durante los dos últimos decenios ha permitido un mejor conocimiento de la fauna piscícola africana en África occidental, subsisten zonas mal inventariadas, como por ejemplo la cuenca del Zaire o Angola. Además, hay en todas partes especies endémicas amenazadas de extinción debido a obras (embalses), a contaminación, o a desafortunadas introducciones de especies predadoras (caso del lago Victoria). Los congresistas deploraron también la falta de un sistema informatizado que permita centralizar y difundir las informaciones sobre sistemática, biología y ecología de los peces.

Si bien muchas especies de peces de agua dulce han desaparecido ya o se encuentran en auténtico peligro de extinción, su suerte no parece preocupar al gran público, más interesado por las especies mediáticas como el elefante, el rinoceronte o la ballena. No obstante, un reciente estudio realizado en Malaysia(1) sugiere que casi la mitad de las doscientas sesenta y seis especies de peces conocidas en este país han desaparecido. En la isla de Singapur, dieciocho de las cincuenta y tres especies censadas en 1934 no han podido ser encontradas, pese a investigaciones muy meticulosas. En Estados Unidos, casi las dos terceras partes de las especies originarias de California están extinguidas, en peligro o en declive,(2) y se estima que un tercio aproximado de las especies norteamericanas han desaparecido o están en peligro de extinción. También han desaparecido todas las especies indígenas del valle de México.

¿Cuál es el origen de esta diversidad de peces actualmente en peligro? La biodiversidad de los peces de las aguas continentales es una herencia de la evolución de las especies y poblaciones piscícolas en un contexto climático en constante cambio. Los paleoclimatólogos han descubierto que durante el último millón de años se sucedieron diez glaciaciones en el hemisferio norte. El apogeo de la última glaciación se sitúa en torno a -18 000 años. En aquel tiempo, Canadá y el norte de Europa, así como el arco alpino, estaban cubiertos por gigantescos casquetes glaciares, por lo que la fauna acuática no pudo sobrevivir en tales regiones. La fauna actual de los lagos alpinos, por ejemplo, es el resultado de una recolonización reciente. Asimismo, a fines de la última glaciación no había en las aguas dulces de Irlanda más que unas pocas especies de peces anádromos (que se reproducen en los ríos pero efectúan su crecimiento en el mar): el salmón, la trucha, la farra, el corégono, la saboga, la anguila y probablemente el espinoso y el anádromo. Actualmente, se han contabilizado unas veinte en total, siete de las cuales fueron introducidas en los últimos cuatrocientos años, entre las cuales la trucha arco iris, la tenca, la carpa (hacia el siglo XVII), el gobio, el dardo y el lucio. En las regiones tropicales también han cambiado las condiciones climáticas, pero la amplitud de las variaciones ha sido menor y muchos sistemas acuáticos han logrado subsistir durante cientos de miles, o incluso millones, de años. Esta permanencia de los sitemas acuáticos es una de las probables razones de la gran riqueza en especies de la fauna piscícola tropical.

Los modos de distribución de la fauna acuática continental difieren mucho de los que se observan en los medios marino o terrestre. Mientras que en estos últimos las especies pueden ocupar grandes superficies de modo más o menos continuo, los lagos y ríos son comparables a islas separadas entre sí por barreras habitualmente infranqueables para los peces. Como consecuencia, en las aguas dulces la diversidad biológica está muy localizada y presenta una fuerte proporción de especies endémicas. Ello es tanto más cierto cuanto mayor es la antigüedad del aislamiento de los sistemas acuáticos; tal es el caso de los grandes lagos del África oriental (lagos

Tanganyika, Victoria, Malawi) o del lago Baikal en Siberia. Pero este tipo de distribución muy fragmentada también da origen a una gran variabilidad genética entre poblaciones aisladas de una misma especie biológica. En cualquier caso, muchas especies de peces de las aguas continentales, cuyo hábitat suele ser limitado, son particularmente vulnerables a los impactos climáticos y antrópicos.

La contaminación de las aguas es una de las amenazas más importantes y conocidas para los peces y para la fauna acuática: en los ríos transformados en alcantarillas sólo subsisten unas pocas especies particularmente resistentes. Pero otra causa de rarefacción, o incluso de desaparición, de ciertas especies es el impacto de la ordenación del territorio, que modifica profundamente los hábitats acuáticos. El mar de Aral, por ejemplo, albergaba más de veinte especies endémicas de peces, todas ellas desaparecidas (véase «El mar de Aral amenazado de desaparición», *Mundo Científico*, nº 109, enero, 1991). La rarefacción del lucio en las aguas francesas no es debida a una pesca demasiado intensiva sino al control de las crecidas y a los diques, que impiden a esta especie frecuentar los prados inundados donde se reproduce.(3)

La pesca también puede ser una amenaza para ciertos tipos de peces, sobre todo cuando se utilizan instrumentos demasiado eficientes para especies vulnerables. Por ejemplo, a raíz de la introducción en los grandes lagos de África oriental (Victoria, Malawi), a principios de los años 1970, de una pesca mecanizada que recurría a la red bentónica, se constató la desaparición de numerosas especies de peces endémicos pertenecientes a la familia cíclidos. Hace poco, se ha descubierto en el lago Tana (Etiopía) el único ejemplo de radiación adaptativa (diversificación de numerosas especies a partir de una especie ancestral) actualmente conocido en el mundo para peces de la familia ciprínidos después de la destrución del lago Lanao, en Filipinas.(4) Pero está gravemente amenazado por un programa de desarrollo pesquero financiado por la Unión Europea.

Otra causa menos conocida de desaparición de especies es la introducción de especies foráneas. Este tema ha agitado mucho a la comunidad científica en los últimos años, con la controversia sobre la introducción de la perca del Nilo (*Lates niloticus*) en el lago Victoria. Este gran pez predador, que puede pesar más de cien kilos, está muy extendido en las aguas africanas. Fue introducido a fines de los años 1950 en el lago Victoria, del que estaba ausente, a fin de aumentar la producción piscícola. Las cerca de trescientas especies de cíclidos endémicos del lago, que hasta entonces habían evolucionado al abrigo de los grandes predadores, se convirtieron en presas muy fáciles. Se estima que muchas de estas especies, que representaban un notable ejemplo de divergencia ecológica y biológica dentro de un mismo grupo zoológico, ya han desaparecido. Por mor de exactitud, sin embargo, hay que añadir que algunas poblaciones de cíclidos habían padecido ya la introducción de la red bentónica, cuya acción devastadora había fragilizado sus efectivos. Por último, resultados de estudios limnológicos sobre la producción fitoplanctónica y la concentración de oxígeno en el agua tienden a demostrar que todo el lago Victoria está en vías de eutrofización, lo cual trae como consecuencia una desoxigenación más o menos permanente de ciertos fondos, anteriormente ocupados por los cíclidos. Se advierte así que una conjunción de diversos efectos de origen humano puede acarrear enojosas consecuencias para un conjunto de especies que los científicos consideraban como un patrimonio de la humanidad, un verdadero laboratorio de terreno donde podía observarse la evolución en acción.

Hay otros casos en que las introducciones han sido aparentemente benéficas, como en el lago Nakaru (Kenya), donde una especie de tilapia introducida en un medio salino desprovisto de peces autóctonos se ha adaptado bien al nuevo medio. Una importante colonia de aves piscívoras se ha instalado en el lago para alegría de ornitólogos y turistas. En este último caso de introducción, no se ha hablado de catástrofe ecológica...

El pez tiene un considerable poder evocador a nivel del inconsciente colectivo porque en cierto modo simboliza la calidad de los ecosistemas acuáticos. Así, el regreso del salmón al Rin o del esturión al Garona son presentados a menudo como el objetivo último de la restauración de los ríos. Los medios se valen con frecuencia de imágenes de peces muertos para hablar de contaminaciones accidentales. No obstante, pese a la situación bastante dramática de muchos sistemas acuáticos, se han puesto en marcha muy pocos programas para salvaguardar la diversidad de las aguas dulces. Con la excepción del parque nacional del lago Malawi en África, construido en 1984 para proteger doscientas especies de peces endémicos, no hay reservas naturales para la protección de peces. Este parque acuático es el único en el mundo que está inscrito como patrimonio mundial de la Unesco, mientras que gozan ya de de este calificativo varias decenas de parques destinados a proteger la gran fauna terrestre. Tampoco es infrecuente que en dichos parques se autorice o tolere la pesca.

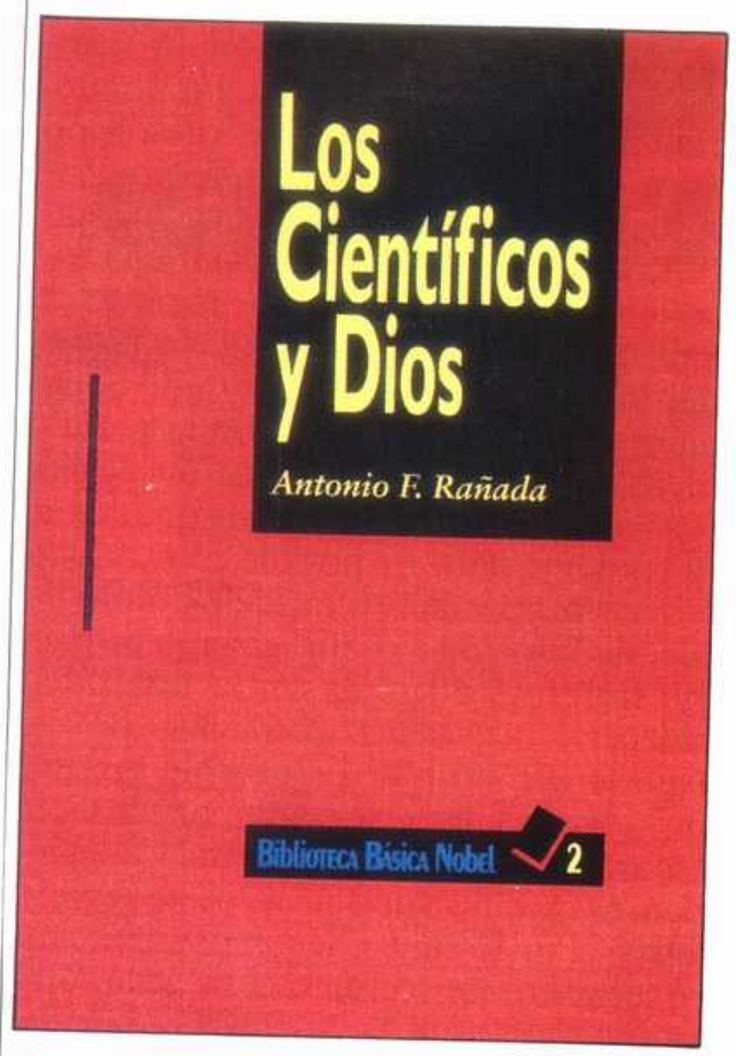
Los científicos franceses tienen una larga tradición de investigación en ictiología, y en general en biología de medios acuáticos, tanto en la metrópoli como en los países tropicales. No obstante, contrariamente a los países anglosajones, los franceses tienen una experiencia limitada en lo tocante a biología de la conservación, la nueva disciplina científica que trata de combinar la teoría ecológica con la práctica, especialmente en la gestión de las especies y de los medios destinados a su conservación. Es posible colmar este retraso proponiendo modelos biológicos distintos de los que afectan al medio terrestre, a fin de sentar una diferencia y de sacar provecho de la experiencia propia. Es posible preservar algunas especies amenazadas en acuarios, pero la misma operación para cientos de ellas supone un costo prohibitivo. Por lo tanto, las consecuencias en términos de conservación de la fauna son muy simples: la preservación de las especies exige proteger los medios en que éstas viven. Dicha protección se inscribe en un contexto de uso de los recursos y los ecosistemas acuáticos.

Las poblaciones salvajes de peces de agua dulce, recursos alimentarios en muchos países tropicales, fuente de recreo para la pesca deportiva o la acuariología, símbolo de la calidad de las aguas y de los sistemas acuáticos, todavía son olímpicamente ignoradas por asociaciones de protección de la naturaleza, empezando por grandes organizaciones no gubernamentales como la Alianza mundial para la conservación (UICN) y el Fondo mundial para la naturaleza (WWF). También lo son por organizaciones internacionales encargadas de la protección de las especies, como la Convención internacional sobre comercio de especies en peligro (CITES), porque el comercio de peces de acuario, así como la pesca, carecen de control eficaz en la mayoría de los países del mundo. Entre los vertebrados, ¿tienen los peces la mala suerte de ser «inferiores» o de observación difícil? La protección de la biodiversidad no ha de obedecer sólo a las inclinaciones afectivas o a las modas, ni convertirse en un gran juego de sociedad, una especie de Monopoly internacional, con sus objetivos económicos y de poder. Indudablemente, hay que proteger al elefante, pero no en detrimento de otros grupos igualmente amenazados de extinción, cuyo interés económico para el hombre es más que obvio.

CHRISTIAN LÉVÊQUE

(1) D. Dudgeon, *Hydrobiologia, 248*, 167, 1992.
(2) R.M. Hughes y R.F. Noss, *Fisheries, 17*, 11, 1992.
(3) P. Keith *et al.*, *Livre rouge des espèces menacées de poissons d'eau douce de France et bilan des introductions*, Collection Patrimoines Naturels, vol. 10, MHHN, CSP, CEMAGREF, Ministerio francés de medio ambiente, 1992.
(4) L.A.J. Nagelkerke *et al.*, *Environmental Biology of Fishes, 39*, 1, 1994.

L I B R E R Í A D E



ANTONIO F. RAÑADA
LOS CIENTÍFICOS Y DIOS
Ediciones Nobel, Oviedo 1994

El autor del libro es doctor en Física por la Universidad Complutense de Madrid y doctor por la Universidad de París.
Actualmente es catedrático de física teórica de la Universidad Complutense de Madrid. Trabajó como investigador en el Laboratoire de Particules Elémentaires de la Universidad de París y en la Junta de Energía Nuclear de Madrid. Participa y colabora en dos foros internacionales, el Movimiento Pugwash y el World Institute of Science. El primero surgió a raíz de un manifiesto de Rusell y Einstein dirigido a los científicos para que fueran conscientes de las consecuencias sociales de sus investigaciones. El segundo tiene la finalidad de acercar a la opinión pública el papel de la ciencia. Antonio F. Rañada ha publicado los libros *Dinámica Clásica* (Alianza Editorial 1990) y *Física Básica* (ALianza Editorial 1993).
Según confiesa el autor en la Advertencia, el libro surgió como fruto de su participación en unas conferencias sobre ciencia y religión. Está estructurado en ocho capítulos, con notas y bibliografía independientes en cada capítulo. En los seis primeros, el autor expone los elementos básicos que permiten estructurar la confrontación entre ciencia y religión. Así, por ejemplo, como líneas temáticas, no como títulos se refiere a: el azar y la necesidad; la evolución; el origen de la vida; el origen del universo; el principio antrópico (fascinante).
El capítulo séptimo, que es quizás el cuerpo central del libro, recoge las actitudes de una serie de grandes científicos ante la idea de Dios. En este tema destaca que el científico, que cree en Dios, puede tener una actitud pasiva, sólo justificable por la fe o por criterios únicamente vivenciales, o activa en el sentido que su trabajo científico parezca orientarle o hacerle intuir la idea de Dios. A título de curiosidad general es interesante conocer ambos grupos, sin embargo, el primero es irrelevante en la temática general del libro.
El último capítulo, cuyo título es «La ciencia y el misterio», trata fundamentalmente del cientificismo o del cientismo, esta actitud que pretende explicarlo todo únicamente mediante la Ciencia. A este respecto el autor nos va conduciendo paulatinamente a la formulación de una pregunta capital en esta temática: ¿Es posible una teoría total? Una teoría total que los explicase todo y todo lo hiciese predecible. No hay respuesta a esta pregunta; no puede haberla puesto que tal teoría total no existe. Sin embargo el autor, creemos que con una cierta dosis de intención, por otra parte perfectamente permisible, nos cita una y otra vez a Gödel. ¿Monod contra Gödel? Cuando el autor al final del libro indica que la Ciencia, como actividad colectiva o sistema social, no puede responder a los grandes interrogantes que plantea, sino que es el hombre quien debe hacerlo a título personal, está tomando partido, puesto que la actitud contraria, en el sentido de que la ciencia lo explique todo deja el paso totalmente cerrado a cualquier interpretación religiosa o simplemente deísta.
Se trata de un libro sólido, bien estructurado y muy interesante, de rápida lectura, y por supuesto, de lectura recomendada a todos aquellos que sientan una inquietud o simple fascinación por «el lado oscuro de la Ciencia».

A.L. Miranda.

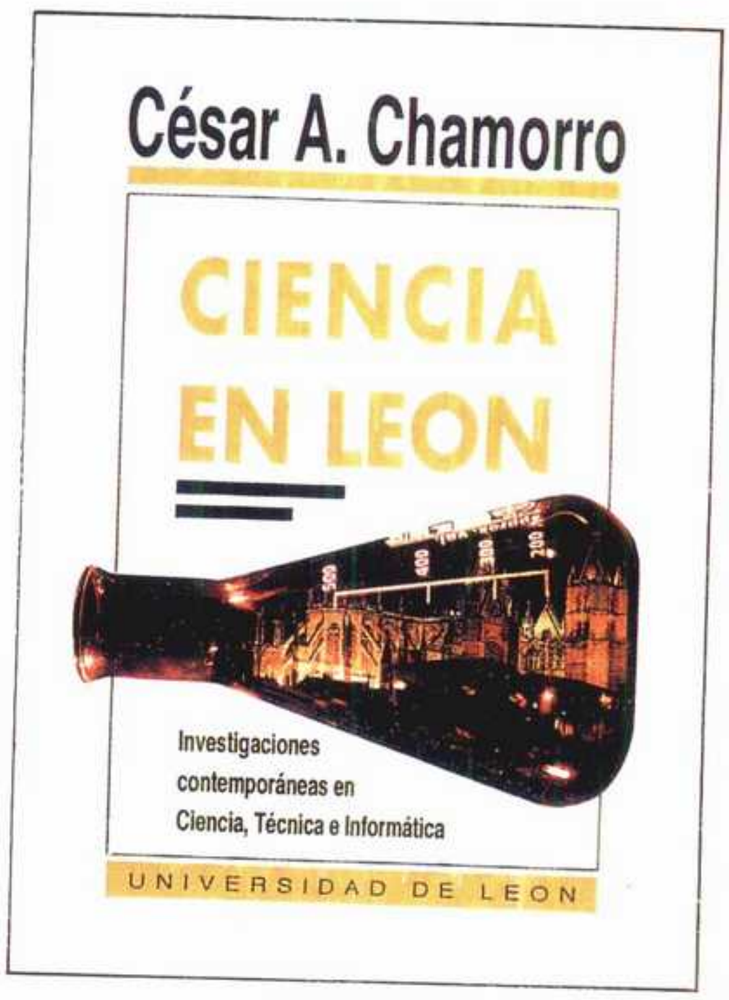
ECOSISTEMAS
Asociación Española de Ecología Terrestre
Madrid, 1994

Bajo la dirección de José Manuel Reyero y la edición de la Asociación Española de Ecología Terrestre, con sede en la Universidad Complutense de Madrid, ha llegado a nuestras manos el número 8 de la revista trimestral «ecosistemas».
Se trata de una publicación con un diseño moderno en cuanto a su aspecto formal y unos artículos bien documentados por especialistas en los temas que aborda.
Es siempre agradable reseñar la aparición (o continuidad, como es el caso) de revistas científicas que, con temas candentes como la ecología, tratan de acercar al gran público los grandes debates científicos y las líneas maestras de investigación en los dieversos ámbitos.

Mundo Científico.

CÉSAR A. CHAMORRO ÁLVAREZ
CIENCIA EN LEÓN
Secretariado de publicaciones.
Universidad de León, León, 1994

Desde el año 1990, el profesor César A. Chamorro colabora regularmente en el suplemento de Ciencia del *Diario de León*. Desde su puesto de profesor del Departamento de biología celular y anatomía de la Universidad de León, ha publicado numerosos artículos encaminados a la divulgación de la ciencia en el más amplio sentido del término, aunque tratando de focalizar al máximo en las líneas de investigación desarrolladas por los diferentes equipos de científicos de la propia Universidad de León. El presente libro es el fruto de la citada colaboración.
Se trata de una obra pulcramente editada, con interesantes fotografías y, sobre todo, muy divulgativa. A lo largo de sus veinte capítulos se desgranan las investigaciones desarrolladas en diferentes departamentos, con detalle de las personas, sus objetivos y sus resultados.
Tras un primer capítulo sobre la investigación en España y singularmente en la Universidad de León, van sucediéndose los diversos temas agrupados en 19 ámbitos, desde la agricultura a la ingeniería genética, pasando por la biotecnología, la sanidad animal o la etología.
Cada capítulo agrupa varios artículos (entre 2 y 11) que tratan los temas más diversos.
No puedo evitar sucumbir a la tentación de citar algunos especialmente sabrosos: Etología del toro de lidia, Inseminación artificial en la oveja, chorizos de León, cría de ranas, restos óseos humanos en la Iglesia de Palat del Rey, etc.
En cada uno de los artículos se presenta inicialmente el equipo investigador y, posteriormente, se detallan las principales investigaciones que se están llevando a cabo. Merece la pena resaltar los comentarios referentes a las colaboraciones entre los diversos departamentos universitarios y distintas instituciones: Diputación, Junta de Castilla y León, etc.



Tal y como señala el vicerrector de Investigación Vicente Gaudioso Lacasa en su prólogo, este libro (y los artículos que lo sustentan) trata de lograr el ansiado acercamiento entre la Universidad y la sociedad, especialmente en un campo, como el de la investigación (básica o aplicada), en el que se acusa muchas veces a la universidad de elitismo (con razón, en algunos casos, debemos aceptarlo). Por todo ello saludamos la aparición del volumen, pero entendemos que es todavía más importante que se mantenga la

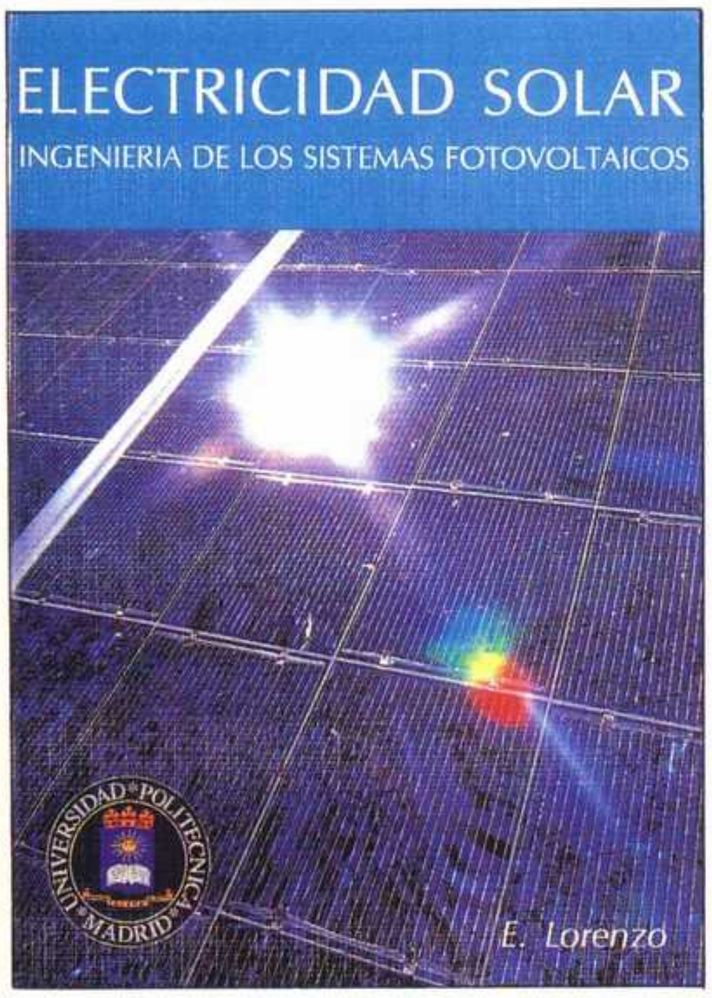
LAS CIENCIAS

colaboración periodística semana a semana. De esta manera, periódicamente, podremos saludar la aparición de nuevas entregas de esta Ciencia en León.

Manuel López Naval.

E. LORENZO
ELECTRICIDAD SOLAR. INGENIERÍA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 1994

El desarrollo de las energías renovables ocupa una parte muy importante de los esfuerzos en el campo de la innovación tecnológica como fuente primaria para su transformación en electricidad. Este campo está impulsado por diversos convenios de colaboración entre administraciones, empresas y universidades.
Justificada la necesidad actual de este tipo de fuentes de energía, después de un breve repaso de los antecedentes históricos, la obra de E. Lorenzo plantea un estudio comparativo de los distintos abastecimientos energéticos primarios a nivel mundial con sus problemas, riesgos e incertidumbres tanto técnicas como económicas y sociales. Del abanico de energías renovables posible, centra su atención directamente en la de origen solar.
Aunque no sea éste el primero en cuanto a ordenación temática, es importante resaltar

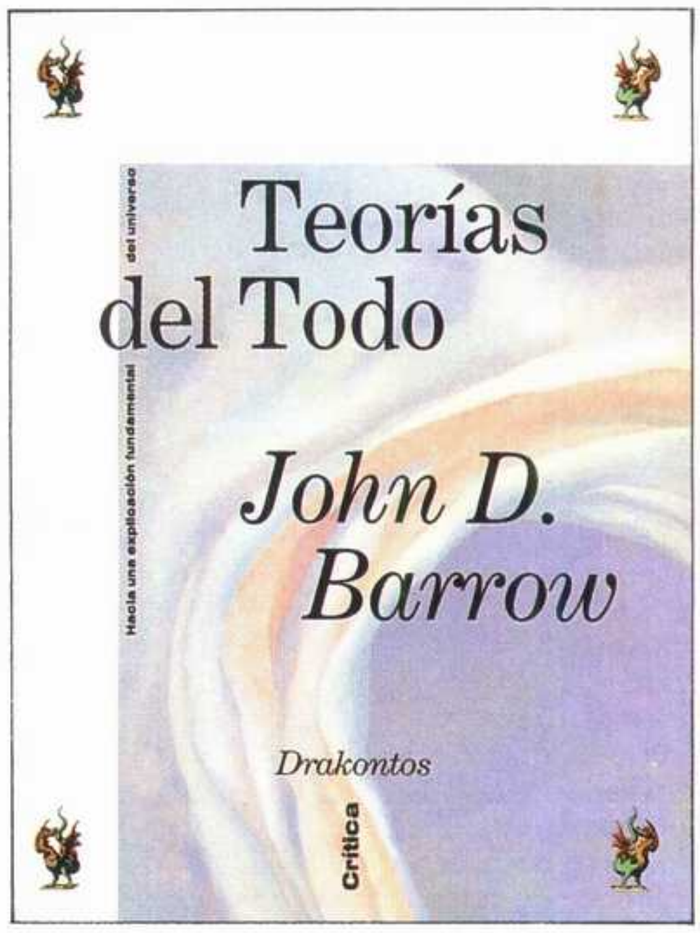


desde un principio, por infrecuente, el aporte de datos en función de la distribución geográfica del emplazamiento de los módulos de lectura para la realización de mapas de trayectoria y conocimiento del año meteorológico típico, que si bien en valores absolutos son aplicables a Madrid, los análisis de autocorrelación y correlación de datos tienen una aplicación geográfica más general. Para el estudio del hecho natural de la conversión de la energía de las radiaciones ópticas en energía cuántica, ahora bien, para una mejor comprensión de este hecho físico explicita un modelo eléctrico. Este recurso de la modelización permite resaltar las relaciones inferenciales de las cantidades más importantes en el aspecto a considerar, que en este caso es el del comportamiento de muchas células interconectadas en serie y paralelo.
Del conocimiento del generador fotovoltaico se pasa al estudio del sistema fotovoltaico a fin de conseguir una adecuación tecnológica de la potencia generada a las necesidades del usuario. Esta parte de ingeniería fotovoltaica, por ser de marcado carácter interdisciplinar, sólo permite una presentación de principios generales, como son: convertidores estático DC/DC o DC/AC, estando presente el contenido armónico de la onda de tensión. Se incluyen también las pautas de dimensionado y esquemas de configuración y montaje, alertando de las necesidades de protecciones tanto preventivas como consecutivas.
Interés especial merece la posibilidad de conexión a la red eléctrica del distribuidor que permite el Reglamento de verificaciones eléctricas y regularidad en el suministro de energía. Evidentemente en los estudios económicos presentados, aunque actuales (1992), hay que tener en cuenta que el mercado energético está sometido, por directrices Europeas, a un alto grado de liberalización que influye notablemente en la fijación de precios.
Por último, el texto trata aspectos tecnológicos relacionados con la fabricación de células solares de silicio: obtención y purificación del silicio, cristalización y laminación, procesos de fabricación y construcción de módulos. Debido al aumento de la demanda eléctrica, de las características del conversor fotovoltaico y de la baja densidad de energía solar que llega a la Tierra se plantea la necesidad de mejorar la eficiencia de las células, por lo que se justifican los objetivos de la concentración y confinamiento de la radiación y se exponen los métodos para conseguirlo.
Es importante notar que los diversos temas son expuestos por distintos profesionales del Grupo de Sistemas del Instituto de Energía Solar, pero en forma coordinada, lo que da coherencia al texto.

M. Bonet.

JOHN D. BARROW
TEORÍAS DEL TODO
Editorial Crítica, Colección Drakontos
Barcelona 1994

John D. Barrow es catedrático de astronomía de la universidad de Sussex y uno de los cosmólogos de más prestigio de la actualidad.
El libro «Teorías del Todo» pretende aproximarnos, de forma clara y sencilla, a una de las controversias más interesantes que actualmente se presentan en física teórica. ¿Son posibles las teorías unificadas, en lenguaje einsteniano, o de forma más moderna, las teorías del todo? Esta controversia ha pasado por sucesivos altibajos, con sus épocas de esplendor. Algunos han calificado de años oscuros los que dedicó Einstein a la búsqueda de la teoría de campo unificado. ¿Se trató de obcecación, o simplemente no disponía de la información sobre las nuevas partículas elementales de que se dispone hoy día?
En cualquier caso la moderna teoría de las supercuerdas parece un prometedor avance en la dirección que perseguía Einstein.
Sin embargo, existen interrogantes, magníficamente planteados por el autor,



que introducen una duda razonable, en el sentido de que realmente pueda ser todo explicado. El teorema de la incompletitud de Gödel establece serias dificultades para establecer teorías autosuficientes. Algunos aspectos del «Mundo» no son compresibles algorítmicamente. La posición personal del autor es manifiestamente escéptica. No cree posible encontrar una fórmula que pueda explicarlo todo. Como dice al final del libro, «ninguna teoría del todo podrá proveer nunca una penetración total. Pues el ver a través de todas las cosaas nos dejaría sin ver nada en absoluto».
Quizá sea un poco excesivo utilizar esta analogía basada en la penetración de la radiación (el conocimiento) sobre las cosas (los fenómenos físicos).
Se trata de un libro de divulgación que no pretende exponer las teorías que explica de forma rigurosa. Aun así ciertos pasajes presentan dificultades a los lectores sin formación fisicomatemática. Por contra, la interesante teoría de las supercuerdas, apenas está esbozada, de forma que el lector profano se queda sin saber realmente de que se trata. He mencionado la teoría de las supercuerdas porque parece ser que podría ser la teoría unificadora, es decir, aquella teoría que lo explicase todo, a pesar de que todavía existen lagunas importantes.
El libro consta de 9 capítulos y contiene también una bibliografía selecta y un índice alfabético, al final. Destaco un magnífico capítulo quinto dedicado a las constantes de la naturaleza.

A.L. Miranda.

L I B R E R Í A D E L A

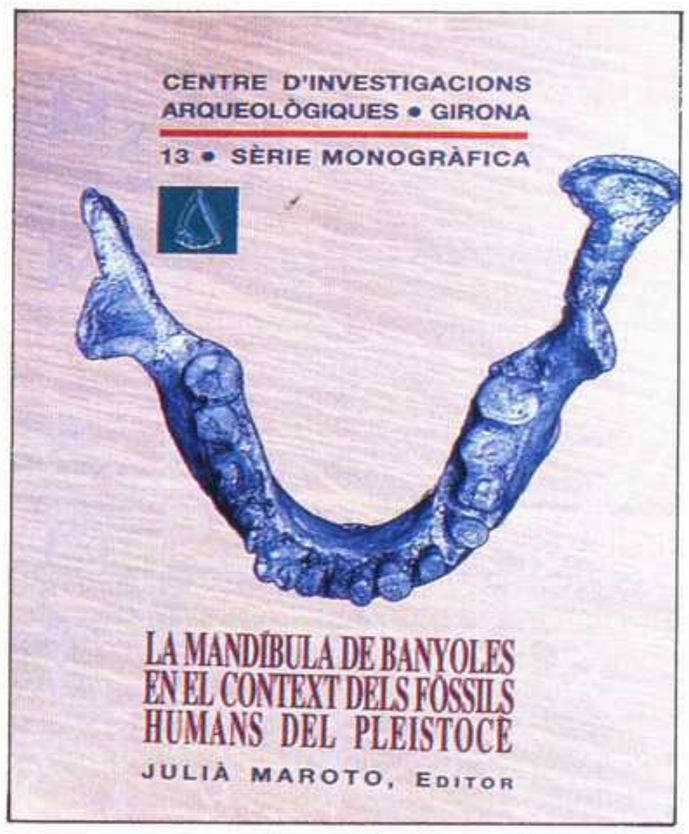
SANTIAGO RIERA Y TUÈBOLS
MES ENLLÀ DE LA CULTURA TECNOCIENTÍFICA
Edicions 62, Barcelona, 1994
XAVIER DURAN
EL NACIONALISME A L'ERA TECNOLÒGICA
Edicions 62, Barcelona 1994

Estos dos libros premiados tienen por autores a dos universitarios habituales colaboradores de publicaciones de divulgación científica. Riera ha explicado termodinámica durante tres lustros a estudiantes de ingeniería industrial, y lleva ahora más de un decenio enseñando historia de la ciencia, la técnica y la tecnología en la facultad de Historia de la Universidad de Barcelona. Por su parte, Duran es químico y es un activo y entusiasta periodista científico de provada solvencia. Ahora bien, ambos ensayos no tienen muchas semejanzas entre sí.
En su interesante trabajo, de recomendable lectura, Riera se lamenta de que a los científicos tecnólogos no se les prepare, en general, para hacer la reflexión y la crítica, y sí, en cambio, para convertirse en meros elementos de mercado. Hacerse capaz de integrar conocimiemtos científico-tecnológicos y humanísticos es para él el único modo de salir airoso ante los problemas que continuamente surgen en las sociedades postindustriales. Y quiere predicar con el ejemplo trazando puentes entre las dos culturas, que él concibe como una sola, y haciendo encarnable asimismo la imagen de un hombre de ciencia sujeto a valores éticos. Riera se hace eco de una afirmación de Ortega, de hace más de medio siglo: «Uno de los temas que en los próximos años se van a debatir con mayor brío es el del sentido, ventajas, daños y límites de la técnica». Aun resultándole incomprensible a la mayoría de ciudadanos, la tecnociencia les afecta a todos, y por ello tienen algo que decir ante su desarrollo y presencia. La tecnociencia, asegura Riera, «no es neutra por que es poder» (Duran sólo indica que decir que la ciencia es neutra es una afirmación muy discutida). De ahí la necesidad de comités éticos que la controlen.
Difícilmente puede respetarse la Naturaleza, señala Riera, con el espíritu de competitividad existente (tampoco a las personas, cabría añadir). Y pone a la Antártida como ejemplo de que todos los problemas ecológicos están relacionados entre sí. Por esto hace falta un cambio de mentalidad que cultive el sentido histórico y permita englobar las generaciones pasadas, presentes y futuras.
A diferencia del anterior, el libro de Duran tiene su interés reducido a un convencido y combativo público nacionalista, al cual ofrece fervorosos votos por la inclusión de fronteras nuevas con las que se disuelvan los actuales estados y surjan otros distintos. Señala que hay nacionalismos que son defensivos y otros que son dominantes, pero no concibe que no se esté ni con los unos ni con los otros. No estará de más destacar que las naciones del Tahuantinsuyu contaban con más de cien lenguas, pero ya nadie se acuerda de ellas; cuando el Inca llegó al poder el quechua pasó a ser la única lengua oficial del nuevo Estado. En estas páginas hay demasiada agresividad y abundan descalificaciones poco sensatas a mi juicio, mientras las leía me vinieron a la memoria unas palabras de Joan Fuster: «Només ens pot refutar un qui pensi com nosaltres».

Miquel Escudero.

AUTORES VARIOS
LA MANDÍBULA DE BAÑOLAS EN EL CONTEXTO DE LOS FÓSILES HUMANOS DEL PLEISTOCENO
Juliá Maroto, editor, Gerona, 1994

Dicen que los sabios de antaño sabían muchas cosas de muchos temas diferentes. Hoy, en cambio, los grandes estudiosos de la Ciencia conducen todos sus esfuerzos a perfeccionarse en un campo concreto; es más, a especializarse dentro de dicho campo. De este modo, por ejemplo, los científicos que estudian la evolución humana se han decantado por una época determinada, por una técnica de datación idónea o por un antepasado común preferido. Y es que, en el fondo, la



competencia científica actual obliga a los científicos a afinar mucho más en la disciplina en que se mueven. Esta sencilla idea ha sido aplicada a la hora de elaborar el libro «La mandíbula de Bañolas en el contexto de los fósiles humanos del Pleistoceno». Autores de la talla de Marie-Antoinette Lumley, Henry Lumley, Josep Pons o James L. Bischoff, por citar sólo unos cuantos, contribuyen con su sabiduría científica en la confección de esta obra, sin duda la más extensa, multidisciplinar y ambiciosa de todas cuantas se han publicado sobre uno de los fósiles humanos más preciados de la Península Ibérica. El libro, escrito en cuatro idiomas (castellano, catalán, inglés y francés), consta de trece trabajos independientes en los que participan no sólo paleoantropólogos, sino también ecólogos, geólogos, odontólogos y prehistoriadores. Cada uno de ellos analiza de forma exhaustiva la mandíbula de Bañolas haciendo uso de su especializado saber científico. Con el fin de situar gráficamente al lector, el monográfico que aquí presentamos muestra una serie de 10 fotografías que permiten observar todos los detalles del fósil desde cualquier vertiente. Además cuenta con varias radiografías en las que se puede ver con total nitidez la ubicación de las piezas dentales en el interior del hueso. Otros gráficos y fotografías completan el apartado visual del libro. «La mandíbula de Bañolas en el contexto de los fósiles humanos del Pleistoceno» es el producto del coloquio internacional celebrado en Bañolas en 1987 con motivo del centenario del descubrimiento de la mandíbula por Pere Alsius. Este monográfico supone la última entrega de una serie de trece obras que el Centro de Investigaciones Arqueológicas de Gerona dedica a la paleontología y arqueología.

Eneko Lasa.

BERNARD CAMPBELL
ECOLOGÍA HUMANA
Biblioteca Científica Salvat, Barcelona, 1994

Porqué el lugar del hombre en la naturaleza ha cambiado, nuestra actitud ante ella también debe cambiar». Quizá sea esta frase del propio autor de «Ecología humana», el mejor resumen que de este libro se puede hacer. Bernard Campbell, zoólogo, botánico, químico y catedrático de antropología en la universidad de California, nos introduce en el mundo de la adaptación del hombre a las diferentes regiones climáticas del mundo. Después de analizar los aspectos más destacados de la evolución según Darwin y Malthus, Campbell nos habla de los conceptos generales de la ecología y la cultura del hombre. No obstante, para comprender en profundidad la relación del hombre con su medio, es preciso dar un repaso a la ecología de nuestros antepasados y al hábitat en que vivían. El autor, de este modo, investiga y explica el *modus vivendi* de los seres humanos a lo largo de su historia, tomando como punto de referencia la región en que vivían (pluviselva, sabana tropical, bosque templado, etc.). Así, hasta llegar a nuestro tiempo; tiempo éste en el que la contaminación y obtención de recursos naturales escapan al control humano. Por ello advierte Campbell: «todavía dependemos, de manera absoluta y total, de la naturaleza de este mundo, de la vida vegetal y animal con la que vivimos». Y es que Campbell hace una pequeña comparación entre nosotros y nuestros antepasados en relación a nuestro comportamiento con el medio natural. Explica, por un lado, cómo los antepasados del hombre han podido sobrevivir con éxito y en armonía con el medio. Por otro, lamenta nuestra desastrosa gestión de los recursos naturales, haciendo especial hincapié en el pastoreo abusivo, en la tragedia que ha supuesto la ganadería para muchas comunidades ecológicas de todo el mundo y en el desarrollo de productos químicos destructores de vida para «mejorar» la agricultura. El libro «Ecología humana» es de fácil lectura, incluso para los no iniciados en el tema. Está dividido en varios capítulos, cada uno de los cuales consta de citas bibliográficas, fotografías y dibujos aclaratorios.

Iñaki Fernández.

C I E N C I A S

- ***El arte de lo obvio,*** Bruno Bettelheim y Alvin A. Rosenfeld, Ed. Crítica, Barcelona, 1994.

- ***El tamaño del Universo,*** Teodoro Vives, Equipo Sirius, Madrid, 1994.

- ***La mujer, su cuerpo y su mente,*** Santiago Dexeus y José Mª Farré, Ediciones Temas de Hoy, Madrid, 1994.

- ***Guía para curar la fatiga,*** David S. Bell y Stef Donev, Grupo Ed. Ceac, Barcelona, 1994.

- ***La generación TV,*** Joan Carles March, Ed. Escuela Andaluza de Salud Pública (EASP), Granada, 1994.

- ***Física sin dogma,*** Franco Selleri, Alianza Editorial, Madrid, 1994.

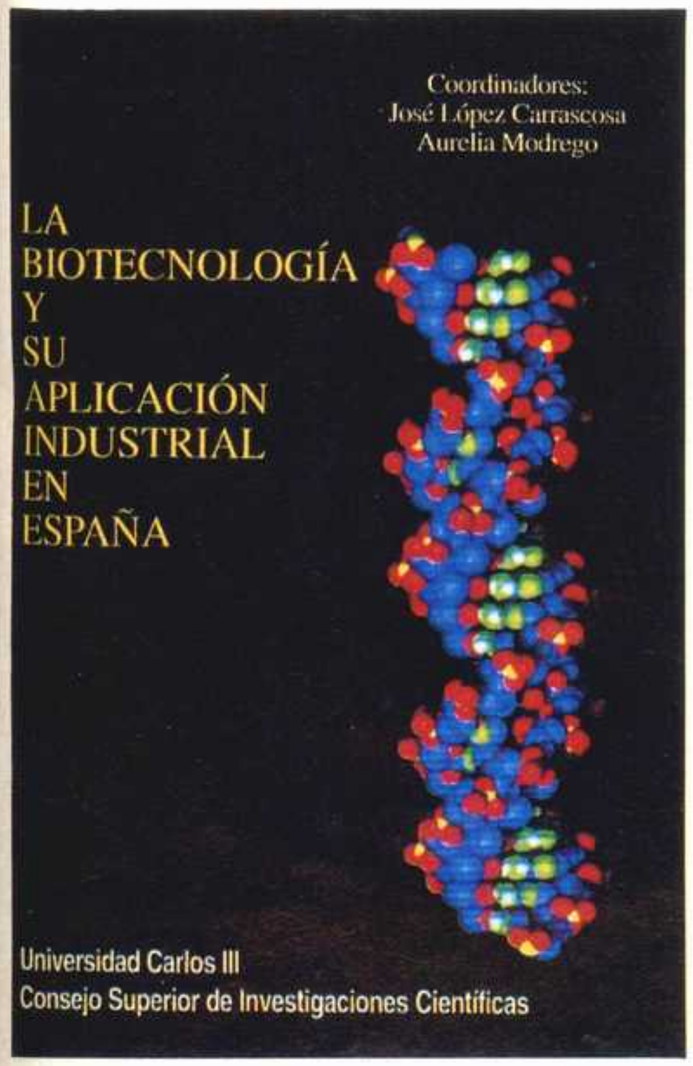
- ***La naturaleza no natural de la ciencia,*** Lewis Wolpert, Acento Editorial, Madrid, 1994.

- ***El Universo virtual,*** Benjamin Woolley, Acento Editorial, Madrid, 1994.

- ***La ética y la vida,*** France Quéré, Acento editorial, Madrid, 1994.

- ***Taekwondo en una semana,*** David Mitchell, Ediciones Pirámide, Madrid, 1994.

- ***Viaje a través de los mundos virtuales en CD***, Phil Shatz, Ed. Anaya Multimedia, Madrid, 1994.



- ***De Eros a Gaia,*** Freeman Dyson, Col. Metatemas, Tusquets Editores, Barcelona, 1994.

- ***Homeopatía,*** Gerhard Leibold, Ediciones Pirámide, Madrid, 1994.

- ***Decoración con flores,*** Judith Blacklock, Ediciones Pirámide, Madrid, 1994.

- ***La biotecnología y su aplicación industrial en España,*** José López Carrascosa y Aurelia Modrego, Universidad Carlos III, CSIC, Madrid, 1994.

- ***Cuevas en hielo y ríos bajo los glaciares,*** Adolfo Eraso y Marian Pulina, McGraw-Hill, Madrid, 1994.

- ***La grona y el añil. Técnicas tintóreas en México y América Central,*** Mª Justina Sarabia Viejo, CSIC, Madrid, 1994.

- ***Tecnologías naturales para el uso y tratamiento de las aguas residuales urbanas,*** Mariano Seoanez, Ediciones J.L.S., Madrid, 1994.

- ***Ciencia y técnica en la metropolización de América,*** José Sala Catalá, Ediciones Doce Calles y CSIC, Madrid, 1994.

- ***La sociología del conocimiento y de la ciencia,*** Emilio Lamo de Espinosa y otros, Alianza Universidad Textos, Alianza Editorial, Madrid, 1994.

- ***Método de la nueva nomenclatura química de M.M. Morveau, Lavoisier, Bertholet y de Fourcroy,*** Pedro Gutiérrez Bueno, Fundación Ciencias de la Salud, Madrid, 1994.

- ***Manual de visual basic 3 para windows***, Gary Cornell, M.C. Graw Hill, Madrid, 1994.

- ***Bibliografía entomológica de autores españoles (1758-1990)***, Carolina Marín Albaladejo, CSIC, Servicio de publicaciones, Madrid, 1994.

- ***Le Courrier de l'Unesco,*** Éditions Hors Siège, París, noviembre, 1994.

- ***Ibérica,*** nº 369, Revista de actualidad electrónica, Asociación de Pedagogía de las ciencias, Barcelona, noviembre, 1994.

- ***Help 400,*** nº 24, Revista para el profesional de los S/3X y AS/400, Edita B2G, Barcelona, noviembre, 1994.

COLECCIONE
MUNDO CIENTIFICO

A LA VENTA LAS TAPAS

Con sistema especial de varillas metálicas que le permite *encuadernar usted mismo.*

Mantenga *en orden y debidamente protegida* su revista de cada mes.

Cada ejemplar puede extraerse del volumen cuando le convenga, sin sufrir deterioro.

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
Editorial Fontalba, Valencia, 359, 6º
Barcelona - 08009 (España)

MC

Deseo que me envíen:
☐ las TAPAS..... 800 pts *.

Efectuaré el pago mediante:
☐ contrarrembolso más 225 ptas. gastos de envío

Nombre .....
Profesión ..... Tel.....
Domicilio .....
Población ..... D.P. .....
Provincia .....
Firma

* Precio válido sólo para España.

C O L O Q U I O S

3-5 NOVIEMBRE — ***BARCELONA (ESPAÑA)***

8º Congreso nacional de enfermería en anestesia. Reanimación y terapia del Dolor.
Secretaría: Apdo. correos 74. 08840 Viladecans. Tel. (93) 212 81 08. Fax (93) 212 47 74.

7-18 NOVIEMBRE — ***MADRID (ESPAÑA)***

Curso sobre medida de la radiactividad en muestras ambientales.
Ciemat. Avda. Complutense 22. 28040 Madrid. Tel. (91) 346 62 92/94. Fax. (91) 346 60 05.

7 NOV. 1994-6 JUN. 1995
ALCALÁ DE HENARES (ESPAÑA)

Curso de especialización en genética clínica.
Dpto. de especialidades médicas. Facultad de medicina. Universidad de Alcalá de Henares. Crta. Madrid-Barcelona, Km. 33,600. 28871 Alcalá de Henares. Madrid. Tel. (91) 885 45 36. Fax (91) 885 45 44.

8-11 NOVIEMBRE — ***LA HABANA (CUBA)***

VII Congreso nacional de anatomía patológica.
Caribe International Tours. Paseo de La Habana, 56, 1º-A. 28036 Madrid. Tel. (91) 563 06 11/71. Fax (91) 563 59 49.

9 NOVIEMBRE — ***BARCELONA (ESPAÑA)***

Conferencia sobre la diabetes, un peligro para todos. Dr. Isaac Levy.
Instituto Dexeus. Dpto. de Relaciones Públicas. C/ Calatrava 83. 08017 Barcelona. Tel. (91) 418 00 00.

10-12 NOVIEMBRE — ***ZARAGOZA (ESPAÑA)***

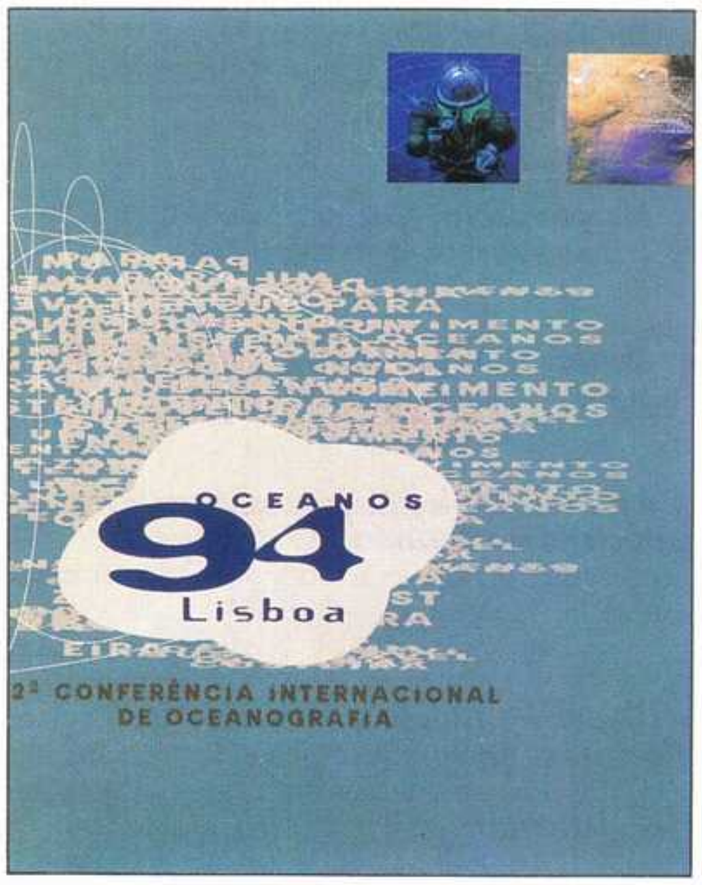
III Congreso nacional de la asociación española para el estudio de la menopausia.
Viajes El Corte Inglés. Dpto. de congresos. Avda. César Augusto 30, 1º. 50004 Zaragoza. Tel. (976) 21 32 11. Fax (976) 23 09 70.

11-12 NOVIEMBRE — ***GIJÓN (ESPAÑA)***

Reunión de otoño de la Sociedad de pediatría asturiana, Cantabria, Castilla y León (SCCALP).
Hospital de Cabueñes. Secretaría: Servicio de pediatría. Cabueñes, s/n. 33394 Gijón. Tel. (98) 518 50 00. Fax (98) 536 71 69.

14-19 NOVIEMBRE — ***LISBOA (PORTUGAL)***

2ª Conferencia internacional de oceanografía Lisboa'94. Para un uso sostenido de los océanos y de las zonas costeras.
Dr. Gunnar Kullenberg. Secretario COI. Unesco. 1, rue Miollis. 75732 Paris Cedex 15, Francia. Tel. (33-1) 40 68 39 83. Fax (33-1) 40 56 93 16.



15-18 NOVIEMBRE — ***MADRID (ESPAÑA)***

V Jornadas de cirugía de la mano.
Srta. Inés de Llanos. Servicio de cirugía de la mano. Hospital Virgen de la Torre. Puerto Lumbreras, 5. 28031 Madrid. Tel. (91) 331 56 43. Fax (91) 331 11 1J.

16 NOVIEMBRE — ***BARCELONA (ESPAÑA)***

Conferencia sobre el cáncer en el niño. Dr. Josep Sánchez de Toledo.
Instituto Dexeus. Dpto. de Relaciones Públicas. C/ Calatrava 83. 08017 Barcelona. Tel. (93) 418 00 00.

16-18 NOVIEMBRE — ***SEVILLA (ESPAÑA)***

XXIV Congreso de la sociedad andaluza de traumatología y cirugía ortopédica (SATO).
Secretaría técnica y registros (Proconsur). Avda. de Bonanza 2, 8º. 41012 Sevilla. Tel. (95) 462 68 11. Fax (95) 462 79 01.

16-18 NOVIEMBRE — ***MADRID (ESPAÑA)***

IV Congreso de la sociedad madrileña de geriatría y gerontología.
Pharma Congress. Secretaría técnica. Capitán Haya 60. 28020 Madrid. Tel. (91) 570 39 00. Fax (91) 570 98 99.

17-18 NOVIEMBRE — ***LE RIDA (ESPAÑA)***

II Simposio Internacional olímpico de biomecánica: Biomecánica y deporte.
INEF-Lleida. Srta. Neus Roca. Partida Caparrella s/n. 25191 Lleida. Tel. 27 20 22. Fax 27 59 41.

17-18 NOVIEMBRE — ***HUESCA (ESPAÑA)***

III Jornadas altoaragonesas sobre medicina de urgencias.
Hospital San Jorge. Sra. Carmen Obón Azuara. Secretaría de dirección. Avda. Martínez de Velasco36. 22004 Huesca. Tel. (974) 21 11 21 (ext. 1107 y 108). Fax (974) 21 13 65.

17-19 NOVIEMBRE — ***BARCELONA (ESPAÑA)***

II Curso sobre ejercicio físico y deporte en la medicina preventiva.
Ultramar Congress. Diputación 238, 3º. 08007 Barcelona. Tel. (93) 412 67 00. Fax (93) 412 03 19.

17-19 NOVIEMBRE — ***GRANADA (ESPAÑA)***

III Congreso internacional «Educación y Sociedad».
CDL de Granada, Almería y Jaén. C/ General Narváez 1, 1º. 18002 Granada. Tel. (958) 25 47 16.

18-19 NOVIEMBRE — ***LEÓN (ESPAÑA)***

XIII Jornadas de debate sobre la sanidad pública.
ADSP León. Apdo. Correos 120. 24780 Astorga.

18-21 NOVIEMBRE — ***MADRID (ESPAÑA)***

Curso sobre energía solar en la edificación.
Ciemat. Avda. Complutense 22. 28040 Madrid. Tel. (91) 346 64 86. Fax (91) 346 60 05.

21-25 NOVIEMBRE — ***MADRID (ESPAÑA)***

II Congreso nacional de medio ambiente.
Asercongres. Lagasca 36, 4º F. 28001 Madrid. Tel. (91) 577 46 86. Fax (91) 577 46 87.

21-25 NOVIEMBRE — ***MADRID (ESPAÑA)***

Curso sobre técnicas y gestión de dosimetría por termoluminiscencia.
Ciemat. Avda. Complutense 22. 28040 Madrid. Tel. (91) 346 62 92/94. Fax (919) 346 60 05.

23 NOVIEMBRE — ***BARCELONA (ESPAÑA)***

Conferencia sobre los quistes de ovario. Dra. Alicia Úbeda Hernández.
Instituo Dexeus. Dpto. de Relaciones Públicas. C/ Calatrava 83. 08017 Barcelona. Tel. (91) 418 00 00.

24-25 NOVIEMBRE — ***BARCELONA (ESPAÑA)***

II Jornadas de actualización en traumatología y cirugía ortopédica.
Institut de ciències mediques i de l'esport. Passatge de la Concepció 11. 08008 Barcelona. Tel. (93) 487 49 49. Fax (93) 488 09 85.

24-26 NOVIEMBRE — ***BARCELONA (ESPAÑA)***

Curso teórico-práctico sobre deformidades nasales. Técnicas de rinoplastia abierta y cerrada.
Ultramar Congress. Diputación 238. 08007 Barcelona. Tel. (93) 412 67 00. Fax (93) 412 03 19.

MUNDO CIENTIFICO LA RECHERCHE, versión en castellano

Para una información adicional

MUNDO CIENTÍFICO

ICYT (CSIC)

• El Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología (ICYT) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Mundo Científico ofrecen a los lectores interesados información bibliográfica complementaria de determinados artículos publicados en este número de Mundo Científico.

• Estas bibliografías (sólo en inglés) se obtienen mediante la exploración de las bases de datos bibliográficas adecuadas accesibles desde el ICYT, y se encuentran a disposición del interesado en el ICYT al precio de 3.000 Pts.

Descuento del 50% a los suscriptores de Mundo Científico (1.500 Pts.).

CUPÓN DE PEDIDO

☐ *La erosión de los grandes llanos agrícolas .....3 000 pts.*
☐ *El sida del gato y su virus.....3 000 pts.*

Marque con una x los temas de las bibliografías que le interesen

Nombre .....

Dirección Postal .....

C.P. ..... Municipio .....

Provincia.....

Número de suscriptor a Mundo Científico .....

Copie o recorte este cupón y envíelo acompañado de talón bancario, nominal al ICYT, o de giro postal por valor de las bibliografías solicitadas.

ICYT - Consultas Bibliográficas
C/ Joaquín Costa, 22
28002 Madrid
Télex: 22628 CIDMD/E
Teléfono: (91) 563 54 82

SUMMARY N° 151

908 NINE REASONS WHY US BIG SCIENCE AND HIGH TECH MILITARY PROJECTS FAIL, enquiry by Robert Bell.

916 EROSION OF THE GREAT AGRICULTURAL PLAINS, by Stanislas Wicherek.

926 CAT AIDS AND ITS VIRUS, by Franck Courchamp, Dominique Pontier, Jean-Marie Legay and Marc Artois.

932 ANCIENT DNA, A USEFUL TOOL OF PALEOGENETICS, by Iñaki Fernández.

942 INFINITY, by Hourya Sincaceur.

950 THE MATERIAL UNIVERSE, by Arturo Arnau.

962 ARCHIVES OF THE PALEOLITHIC, by Randall White.

968 ASTRONAUTS IN A SUBMARINE, by María Luisa Sarazá y Dusko Despotovic.

970 EXPLORING SOAP FILMS, by Jean-Jacques Benattar and Aude Schalchli.

972 BACTERIA IN PETROLEUM DEPOSITS, by Michel Magot, Jacques Connan and Jean-Louis Crolet.

974 INFANTS AND COLORS, by Jules Davidoff and Peter Mitchell.

976 IN VITRO FERTILIZATION AMONG FLOWERING PLANTS!, by Christian Dumas.

978 FOSSIL GAS TURNS UP IN A DWARF GALAXY, by Daniel Kunth.

980 THE TOP QUARK IS BEING DISCOVERED, by Maurice Mashaal.

981 THE SECOND RECEPTOR OF THE AIDS VIRUS (CONTINUED), by Laure Schalchli.

982 IS THE FEMORAL NECK A SOCIAL INDICATOR FOR ANTHROPOLOGISTS?, by Erik Trinkaus.

984 THE EYE ON WATCH FOR THE MAGNETIC FIELD, by Françoise Breton and Françoise Gillard.

986 SAVING FRESH-WATER FISH, by Christian Lévêque.

SUSCRÍBASE A MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

MUNDO CIENTÍFICO

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia 359, 6º 1ª
08009 Barcelona (España)

Señores: Deseo suscribirme a la revista **MUNDO CIENTÍFICO**, de periodicidad mensual, al precio de oferta de 6.475 ptas., incluido IVA (7.150 ptas. precio venta quiosco), por el período de un año (11 números) y renovaciones hasta nuevo aviso, cuyo pago efectuaré mediante:

A partir del mes de ..... (incluido)

☐ Domiciliación bancaria.
☐ Envío cheque bancario por 6.475 ptas.
☐ Contrarrembolso.

Si desean factura, indiquen el número de copias y el NIF .....

MAY 1997

Nombre .....
Apellidos .....
Profesión .....
Domicilio .....
Población ..... Código Postal .....
Provincia ..... Teléfono .....
País ..... Fecha .....

Para Canarias, Ceuta y Melilla 6.286 ptas. (exento IVA). Envío aéreo Canarias: 6.946 ptas.
Para el extranjero, enviar adjunto un cheque en dólares:

	Ordinario	Avión
Europa	64$	92$
América	64$	109$

(Se recomienda para Canarias y América el envío aéreo.)
Rogamos a los suscriptores que en toda la correspondencia (cambio de domicilio, etc.) indiquen el número de suscriptor, o adjunten la etiqueta de envío de la revista.

DOMICILIACIÓN BANCARIA

C.C.C. (Código Cuenta Cliente)

Entidad | Oficina | DC | Nº cuenta

Fecha .....

NOTA IMPORTANTE: **Las diez cifras del número de cuenta deben llenarse todas**. Si tiene alguna duda en el número de cuenta, el banco o la sucursal, consulte a su entidad bancaria donde le informarán.

Banco o Caja ..... Sucursal .....
Domicilio .....
Población ..... C.P. ..... Provincia .....

Señores: Ruego que hasta nuevo aviso abonen a Editorial Fontalba, S.A., Valencia 359, 6º 1ª, 08009 Barcelona (España), con cargo a mi c/c o libreta de ahorros, los recibos correspondientes a la suscripción o renovación de la revista **MUNDO CIENTÍFICO**.

Firma

Titular .....
Domicilio .....
Población ..... C.P. .....
Provincia .....

NÚMEROS ATRASADOS DE

MUNDO CIENTÍFICO

Sírvanse enviarme los siguientes números: .....

(Agotados los números: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 20, 21, 27, 31, 36, 38, 43, 50, 53, 57, 60, 67, 71, 72, 73, 96 y 104.)

Forma de pago: ☐ contrarrembolso (650 ptas. ejemplar, más 225 ptas. por gastos de envío expedición).

Nombre .....
Domicilio .....
Población ..... Código Postal .....
Provincia .....

31-12-94

MUNDO CIENTIFICO

● **DIRECTOR**
José Gili Casals

● **COMITÉ DE REDACCIÓN**
Jerónimo Lorente
Mercé Durfort
Martí Llorens
Joan Izquierdo

● **REDACCIÓN**
Martí Llorens
Ofelia Favarón
Manuel López Naval
Natalia Gili

● **PRODUCCIÓN**
Mercedes Ruiz-Larrea

LA RECHERCHE

● **DIRECTOR GENERAL**
Stéphane Khémis

● **COMITÉ CIENTÍFICO**
Marc Augé
Claude Cohen-Tannoudji
Vincent Courtillot
Jean-Gabriel Ganascia
Marc Jeannerod
Jean-Claude Lehmann
Jean-Marie Lehn
Claude Lorius
Luc Montagnier
Alain Omont

● **DIRECTOR CIENTÍFICO**
Gabriel Gachelin

ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN
El trasfondo de los fracasos tecnológicos norteamericanos; Explorar las películas de jabón; Los bebés y los colores; El infinito; El ojo, al acecho del campo magnético; Salvar los peces de agua dulce: *Joan Pericay*; La erosión de los grandes llanos agrícolas; Los archivos del paleolítico; Gas fósil en una galaxia enana; El quark top, un descubrimiento anunciado: *Amadeu Montoto*; El sida del gato y su virus; Las bacterias de los yacimientos petrolíferos; Fecundación «in vitro» de las plantas con flores; El segundo receptor del virus del sida: continuación; El cuello del fémur: ¿un indicador social para los antropólogos?: *Jaume Gavaldà*.

EDITA

EDITORIAL FONTALBA, S.A
Valencia 359, 6º 1ª
08009 Barcelona (España)
Tel. (93) 458 55 08. Fax. (93) 458 66 02

SUSCRIPCIONES
Isabel Albareda, Gemma Valls, Marisol López
Valencia 359, 6º 1ª. 08009 Barcelona
Tel. (93) 458 55 08. Fax. (93) 458 66 02
Horario: 9 a 14 y de 16 a 18 horas (lunes a viernes)

PUBLICIDAD
Directora de publicidad
Sofia Seiferheld
Valencia 359, 6º 1ª. 08009 Barcelona
Tel. (93) 458 55 08. Fax. (93) 458 66 02

PROMOCIÓN SUSCRIPCIONES
Jefes de zona
Amparo Álvarez Iranzo
Luis A. Griffo

Distribución **Marco Ibérica, S.A.**
Fotocomposición:
Marta Casóliva, Montserrat Altimira, Montse Martín
Impresión: Litografía Rosés, S.A.
Barcelona (España)
B. 10.896-81/

© Para la lengua española Editorial Fontalba, S.A. 1981
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización de los editores. Mundo Científico no hace necesariamente suyas las opiniones y criterios expresados por sus colaboradores.

El precio para Canarias, el mismo de la portada incluida sobretasa aérea.

MUNDO CIENTIFICO próximo número

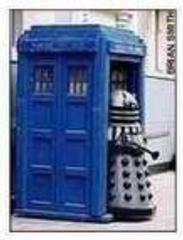
LA RECHERCHE, *versión en castellano*

La revista científica de ámbito internacional

LAS EPIDEMIAS DE GRIPE,
por P. Quénel y W. Dab.
LA FÍSICA DE LOS LIPOSOMAS,
por X. Michalet, F. Jülicher, B. Fourcade, U. Seifert y D. Bensimon.
LA FOSILIZACIÓN INSTANTÁNEA,
por D.M. Martill.
LA VIEJA TECNOLOGÍA,
por E. Werner y P. Degoul.
LOS CÚMULOS DE GALAXIAS PRÓXIMOS REJUVENECEN,
por S. Andreon, E. Davoust y P. Poulain.

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/